

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

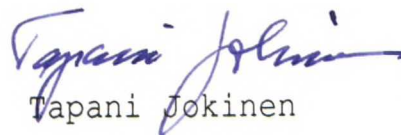
Sähkötekniikan osasto

Veli-Matti Kärkkäinen

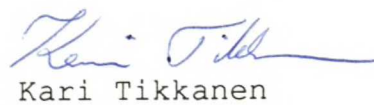
TAAJUUSMUUTTAJIEN SÄHKÖMAGNEETTINEN YHTEENSOPIVUUS

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä  
tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa  
varten Espoossa 31.1.1995

Työn valvoja

  
Tapani Jokinen

Työn ohjaaja

  
Kari Tikkanen

19598

TKK SÄHKÖTEKNIIKAN  
OSASTON KIRJASTO  
OTAKAARI 5 A  
02150 ESPOO

Tekijä: Veli-Matti Kärkkäinen

Työn nimi: TAAJUUSMUUTTAJIEN SÄHKÖMAGNEETTINEN YHTEENSOPIVUUS

Päivämäärä: 31.1.1995

Sivumäärä: 68

Osasto: Sähkötekniikka

Professori: Svt-17 Sähkötekniikka (Sähkömekaniikka)

Työn valvoja: Prof. Tapani Jokinen

Työn ohjaaja: DI Kari Tikkanen

Diplomityössä on otettu tarkastelun pohjaksi Euroopan Yhteisön uusi EMC-direktiivi ja sen taajuusmuuttajille asettamat vaatimukset. Työssä on selvitetty EMC-direktiivin taustaa, sen voimaantuloa sekä direktiivin pohjana olevia standardeja. Työssä on määritelty, mitä sähkömagneettinen yhteensopivuus pitää sisällään. Työssä on tarkasteltu häiriölähteitä sekä häiriöiden etenemistä ja kytkeytymistä.

Työssä on tutkittu EMC-direktiivin piiriin kuuluvien häiriönsietotestien taustaa ja testien toteuttamista. Osa häiriönsietotesteistä on tehty SAMI Flowstar 100 kVA -taajuusmuuttajalle. Staattisen purkauksen siedon testissä simuloitiin taajuusmuuttajaan kohdistuvaa staattista purkausta. 5/50 ns pulssin siedon testissä simuloitiin kytkentä- ja katkaisuilmiöissä syntyviä toistuvia purskeita. Syöksyjännitteen siedon testissä simuloitiin salaman aiheuttamia jännitepiikkejä. Jännitteen vaihtelun siedon testissä taajuusmuuttaja asetettiin alttiiksi jännitteen vaihtelulle. Tehdyistä testeistä on dokumentoitu tyyppikoeohjeet sekä testauspöytäkirjat. Taajuusmuuttaja läpäisi testit ja toimi normaalisti testien ajan.

Suurtaajuuden sähkömagneettisen siedon testissä simuloidaan yleisradiolähettimen, amatöörilähettimen tai radiopuhelimen aiheuttamaa häiriölähetettä. Johtuvien radiotaajuisten häiriöiden siedon testissä määritellään laitteen immuniteetti suurtaajuuden sähkömagneettisen säteilijän aiheuttamien johtuvien häiriöiden osalta. Verkkojännitteen vaihtelun ja sähkökatkoksien testissä simuloidaan sähköverkossa esiintyviä poikkeamia, verkkojännitteen vaihtelua ja sähkökatkoksia. Verkkotaajuuden magneettikentän siedon testissä simuloidaan teollisuusympäristössä esiintyviä korkeita magneettikentän voimakkuuksia.

Työssä on tarkasteltu johtuvien häiriöiden mittausta ja vaimennusta sekä tehty useita johtuvien häiriöiden mittauksia. Tutkittiin häiriönsuotokondensaattorien, radiohäiriösuodattimen ja kuristimien vaikutusta häiriötasoon. Yhteismuotoisen kuristin ja häiriönsuotokondensaattorien yhdistelmällä virran syötössä päästiin alle CENELECin salliman raja-arvokäyrän. Säteilemällä etenevät häiriöt mitataan CISPR:n mukaisen mittaavastaanottimen ja dipoliantennin avulla.

Hakusanat: EMC-mittaukset, Häiriönpäästö, Häiriönsieto, Sähkömagneettinen yhteensopivuus, Taajuusmuuttaja



Author:	Veli-Matti Kärkkäinen		
Name of the thesis:	ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF FREQUENCY CONVERTERS		
Date:	31.1.1995	Number of pages:	68
Faculty:	Electrical Engineering		
Professorship:	Svt-17 Electrical Engineering (Electromechanics)		
Supervisor:	Prof. Tapani Jokinen		
Instructor:	M.Sc. (Eng.) Kari Tikkanen		
<p>The primary approach in the Master's thesis has been based on the new EMC directive of European Community and its requirements for frequency converters. The background, enforcement and standards behind the EMC directive have been clarified. The concept of electromagnetic compatibility has been defined. The interference sources and also propagation and coupling of disturbances have been examined.</p> <p>The immunity tests of EMC directive and execution of the tests have been examined. Some of the immunity tests have been applied to SAMI Flowstar 100 kVA frequency converter. In the electrostatic discharge test a static electricity discharge has been applied to the frequency converter. In the electrical fast transient test the bursts originating from switching transients have been simulated. In the surge immunity test the impulse voltages resulting from lightning strokes have been simulated. In the voltage variation test the frequency converter has been exposed to voltage variation. The type testing instructions and test documents have been made of the tests carried out. The frequency converter passed the tests and operated normally during the tests.</p> <p>In the radio-frequency electromagnetic field test an interference signal of general or amateur radio broadcasting or radiotelephone is simulated. In the conducted radio-frequency disturbance test the immunity of the equipment is defined in regard to conducted disturbances caused by high-frequency electromagnetic radiation source. In the network voltage variation and interruption test the voltage variations and interruptions occurring in the electricity network are simulated. In the power-frequency magnetic field test the high magnetic field strengths occurring in the industrial environment are simulated.</p> <p>Conduction measurements and suppression of radio interference have been examined and several conduction measurements have been carried out. The effects of suppression capacitors, suppression filter and suppression chokes on the interference level have been examined. By applying a common mode suppression choke together with suppression capacitors the interference level has been reduced below the CENELEC limit. The radiation measurements of radio interference are measured with measuring apparatus and dipole aerial according to CISPR.</p> <p>Key words: Electromagnetic compatibility, EMC-measurements, Emission, Frequency converter, Immunity</p>			

## ALKULAUSE

Esitän kiitokseni diplomityöni valvojalle, prof. Tapani Jokiselle, saamistani neuvoista ja ohjeista.

Tämä diplomityö on tehty ABB Strömberg Drives Oy:n tehoelektroniikkaosastolla. Tehoelektroniikkaosaston Flowstar tulosityksikkö on tarjonnut mielenkiintoisen diplomityöaiheen ja viihtyisän työympäristön. Haluankin kiittää lämpimästi kaikkia työtovereitani tämän työn tekemisessä saamastani tuesta.

Erityisesti haluan kiittää työni ohjaajaa dipl. ins. Kari Tikasta, dipl. ins. Veli-Matti Leppästä sekä dipl. ins. Ismo Toikkaa tuesta ja neuvoista, joita olen heiltä tätä työtä tehdessäni saanut.

Helsingissä, 31. päivänä tammi kuuta 1995



Veli-Matti Kärkkäinen

Alakartanontie 11 E 37

02360 ESPOO

90 - 802 6900



## SISÄLLYSLUETTELO

DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ

ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS

ALKULAUSE

SISÄLLYSLUETTELO

MERKKIEN JA LYHENNYSTEN LUETTELO

LIITELUETTELO

1.	JOHDANTO. . . . .	9
2.	SÄHKÖMAGNEETTINEN YHTEENSOPIVUUS. . . . .	10
2.1	Häiriöt ja häiriintyminen. . . . .	10
2.1.1	Häiriölähteet. . . . .	11
2.1.2	Häiriöiden eteneminen ja kytkeytyminen .	12
2.1.3	Häiriintyminen . . . . .	13
2.2	Standardit, suositukset ja määräykset. . . . .	15
2.3	Euroopan unioni ja EMC-direktiivi. . . . .	16
3.	HÄIRIÖNSIETO . . . . .	21
3.1	Staattisen purkauksen sieto. . . . .	21
3.2	Suurtaajuisen sähkömagneettisen kentän sieto .	24
3.3	5/50 ns pulssin sieto. . . . .	29
3.4	Syöksyjännitteen sieto . . . . .	32
3.5	Johtuvien radiotaajuisten häiriöiden sieto . .	34
3.6	Verkkojännitteen vaihtelun ja sähkökatkoksien sieto. . . . .	36
3.7	Verkkotaajuisen magneettikentän sieto. . . . .	38
3.8	Jännitteen vaihtelun sieto . . . . .	41
4.	HÄIRIÖNPÄÄSTÖ . . . . .	44
4.1	Johtumalla etenevät häiriöt. . . . .	44
4.1.1	Johtuvien häiriöiden mittaus . . . . .	44
4.1.2	Johtuvien häiriöiden vaimennus . . . . .	47
4.2	Säteilemällä etenevät häiriöt. . . . .	58
5.	YHTEENVETO. . . . .	61
	LÄHDELUETTELO. . . . .	65

## MERKKIEN JA LYHENNYSTEN LUETTELO

Al	alumiini
CE	Conducted Emission, johtuvien häiriöiden päästö
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique, eurooppalainen sähköalan standardisointijärjestö
CISPR	Comité International Special des Perturbations Radioelectriques, kansainvälinen radiohäiriökomitea
CS	Conducted Susceptibility, johtuvien häiriöiden sieto
Cu	kupari
DS	Dansk Standardiseringsråd, tanskalainen standardisointijärjestö
EMC	Electromagnetic Compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus
EMP	Electromagnetic pulse, sähkömagneettinen pulssi
EN	European Norm, eurooppalainen standardi
ESD	Elektrostatic Discharge, staattinen purkaus
f	taajuus
FCC	Federal Communications Commission, Yhdysvaltain tietoliikennetekniikan standardisointijärjestö
IEC	International Electrotechnical Committee, kansainvälinen sähköalan standardisointijärjestö
ISO	International Organization for Standardization, kansainvälinen standardisointijärjestö
KOTEL	Elektroniikan ja komponenttien testauksen ja tutkimuksen yhteistyöelin
MIL	Yhdysvaltain sotilaallinen standardisointijärjestö
RE	Radiated Emission, säteilevien häiriöiden päästö
RS	Radiated Susceptibility, Säteilevien häiriöiden sieto
SC	Sub Committee, alakomitea standardisoinnissa
SESKO	Suomen sähköteknillinen standardisointiyhdistys
SFS	Suomen standardisointiliitto
SK	Alakomitea standardisoinnissa
TC	Technical Committee, tekninen komitea standardisoinnissa

TR	Työryhmä standardisoimistyössä
VDE	Verband Deutscher Elektrotechniker, saksalainen standardisoimisjärjestö
VTT	Valtion teknillinen tutkimuskeskus
WG	Work Group, työryhmä standardisoimistyössä



## LIITELUETTELO

1. Council Directive of 3 May 1989 on the approximation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility. Official Journal of the European Communities, No. L 139. s. 19-26, Euroopan yhteisö, 1989
2. Staattisen purkauksen sieto, tyyppikoeohje ja testauspöytäkirja, SAMI Flowstar 100 kVA
3. Council Directive 92/31/EEC of 28 April 1992 amending Directive 89/336/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility. Official Journal of the European Communities, No. L 126. s. 11, Euroopan yhteisö, 1992

## 1. JOHDANTO

Diplomityössä tarkastellaan sähkömagneettista yhteensopivuutta ja siihen liittyviä käsitteitä. Tarkoituksena on selvittää, mitä vaatimuksia Euroopan unionin uusi EMC-direktiivi asettaa taajuusmuuttajille sekä tutkia taajuusmuuttajan häiriönsietoa ja häiriönpäästöä.

Aluksi työssä on tarkoitus määritellä, mitä sähkömagneettinen yhteensopivuus pitää sisällään, sekä tarkastella häiriölähteitä ja häiriintymistä. Työssä perehdytään myös sähkömagneettisen yhteensopivuuden standardisoimisjärjestöihin ja standardeihin. Tarkoituksena on selvittää EMC-direktiivin taustaa, sen voimaantuloa sekä direktiivin pohjana olevia standardeja.

Työssä tutkitaan jokaisen EMC-direktiivin piiriin kuuluvan häiriönsietotestin taustaa sekä testin toteuttamista. Osa häiriönsietotesteistä tehdään tyyppikoetesteinä SAMI Flowstar taajuusmuuttajalle. Tehdyistä testeistä dokumentoidaan tyyppikoeohjeet sekä testauspöytäkirjat.

Työssä tutkitaan myös taajuusmuuttajan häiriönpäästöä. Tarkoituksena on selvittää johtuvien häiriöiden mittausta ja vaimennusta sekä myös tehdä häiriöiden mittauksia. Työssä pyritään myös tutkimaan eri tyyppisten vaimennusratkaisuiden vaikutusta häiriötasoon. Lisäksi tarkastellaan säteileviä häiriöitä ja niiden mittausta.

## 2. SÄHKÖMAGNEETTINEN YHTEENSOPIVUUS

Elektroniikan kehitys ja sovellusalueiden jatkuva laajeneminen ovat aiheuttaneet tarvetta tuottaa laitteita, jotka sietävät sähköisiä häiriöitä eivätkä häiritse muita laitteita. Elektroniikkalaitteiden signaalinkäsittelynopeuksien kasvu ja pienentyneet signaalitasot aiheuttavat sen, että nykyiset elektroniikkalaitteet ovat entistä herkempiä sähköisille häiriöille. Myös laitteiden käyttöympäristön sähkömagneettinen häiriömäärä on kasvanut, sillä digitaali-elektroniikan ja tehoelektroniikan laitteet tuottavat radiotaajuisia häiriöitä laajalla taajuusalueella.

Sähkömagneettinen yhteensopivuus, eli EMC on määritelty seuraavasti: "Elektronisten laitteiden ja järjestelmien kyky pitää hyötysignaalien ja häiriösignaalien tasojen ja taajuuksien suhteet sellaisina, etteivät laitteiden suoritusravot liikaa huonone, kun niitä käytetään samanaikaisesti aiottuun tarkoitukseensa sallituissa olosuhteissa". [KOTEL, 1978, s. 8]

### 2.1 Häiriöt ja häiriintyminen

Sähkömagneettisessa häiriötapauksessa on oltava häiriön lähde, sopiva kytkeytymistie häiriölle ja häiriöille herkkä kohde. Sähkömagneettista yhteensopivuutta voidaan siis parantaa vähentämällä häiriölähteen lähettämiä häiriöitä, ehkäisemällä häiriöiden eteneminen sekä parantamalla häiriön kohteen häiriönsietoa.

Sähkömagneettinen häiriötekijä (electromagnetic disturbance) on mikä tahansa ilmiö, joka voi alentaa laitteen, laitteiston tai järjestelmän toimintakykyä tai vaikuttaa haitallisesti elolliseen tai elottomaan aineeseen. Sähkömagneettinen häiriö (electromagnetic interference; EMI) määritellään sähkömagneettisen häiriötekijän aiheuttaman laitteen laitteiston tai järjestelmän toimintakyvyn alentumiseksi. [IEC TC 77(Sec)87, 1990, s. 3]



### 2.1.1 Häiriölähteet

Sähkömagneettisia häiriöitä aiheuttavat sekä luonnossa esiintyvät ilmiöt että ihmisten tekemät laitteet ja kojeet. Alle 30 MHz:n taajuuksilla luonnon aiheuttamia häiriöitä ovat pääasiassa ilmakehän sähköiset myrskyt ja salaman iskut, kun taas suuremmilla taajuuksilla häiriöitä aiheuttavat kosminen taustakohina, auringon säteily ja radiotähdet. Sähkömagneettisia häiriöitä tuottavat kojeet ja laitteet voidaan jakaa niihin, jotka on tarkoitettu tuottamaan ja lähettämään sähkömagneettista energiaa, kuten radiopuhelimet, tutkat ja yleisradiolähettimet sekä niihin, joita ei varsinaisesti ole tarkoitettu tuottamaan sähkömagneettisia lähteitä, kuten sähkömoottorit, kytkimet ja hitsauslaitteet.

Sähkömagneettiset häiriöt voidaan jakaa myös laaja- ja kapeakaistaisiin häiriöihin. Lähte on laajakaistainen, jos sen kaistanleveys on suurempi kuin tietty referenssikaistanleveys. Jos taas lähteen kaistanleveys on referenssikaistanleveyttä pienempi, katsotaan lähteen olevan kapeakaistainen. Jako laaja- ja kapeakaistaiseen häiriöön riippuu siis referenssikaistanleveydestä, joka voi olla esimerkiksi tietyn kentänvoimakkuusmittarin kaistanleveys. Laajakaistaisia häiriölähteitä tuottavat esimerkiksi loisteputket, voimalinjat ja nopeat digitaaliset piirit. Kapeakaistaisia lähteitä tuottavat esimerkiksi radio- ja TV-lähettimet sekä radiolinkit.

Häiriösignaalit ovat jaettavissa kestoajansa perusteella jatkuviin häiriöihin, lyhytaikaisiin häiriöihin ja transienttihakiriöihin. Jatkuvan häiriön lähteillä on lähes vakio teho useiden tuntien ajan. Esimerkkejä ovat radio- ja TV-lähteet ja loistevalaisimet. Lyhytaikaisten häiriölähteiden teho kestää muutamasta sekunnista tunteihin, jonka ajan kuluessa teho ei vaihtelee merkittävästi. Esimerkkejä ovat radiopuhelimet, tietoliikenne ja eräät tietokonelaitteet. Transienttihakiriölähteistä tulevan häiriön kesto aika on lyhyt, yleensä pienempi kuin yksi sekunti ja sillä on usein lyhyt nousu- ja/tai laskuaika. Tyypillisiä transient-

tihäiriön lähteitä ovat salamat, induktiivisten kuormien kytkeytyminen, kontaktorit, releet ja sähköstaattisten varausten purkautuminen. Transienttihäiriöt voivat edetä säteilemällä ja/tai johtuvina virta- tai jännitepiikkeinä. Lisäksi niiden energia voi olla jakaantunut hyvin laajalle taajuusalueelle. [Reinikainen 1988, s. 3-6]

Ydinräjähdys synnyttää voimakkaan sähkömagneettisen pulssin, EMP:n (Electromagnetic Pulse). Pulssin ominaisuudet vaihtelevat mm. räjähdyskorkeuden ja räjähteen koon mukaan. Ilmakehän yläpuolella tapahtuvan korkearäjähdysten sähkökentän maksimi kyllästyy arvoon n. 30-50 kV/m, kun räjähteen voimakkuus on yli 1 Mtn. Maan pinnalla tapahtuva ydinräjähdys tuottaa myös voimakkaan sähkömagneettisen pulssin, mutta tällöin lähdealue jää verrattain pieneksi ja EMP:n vaikutus paikalliseksi. [VTT 1978]

### 2.1.2 Häiriöiden eteneminen ja kytkeytyminen

Sähkömagneettiset häiriöt voivat edetä sekä johtumalla, että säteilemällä. Johtumalla eteneminen voidaan jakaa symmetriseen ja epäsymmetriseen muotoon. Symmetrisessä tapauksessa etenevä häiriösignaali on kytkeytynyt johtimien väliin. Symmetrisestä etenemismuodosta käytetään myös nimitystä eromuotoinen ja poikittainen. Epäsymmetrisessä tapauksessa signaali etenee kahden tai useamman johtimen ja maan tai paluujohtimen välissä. Tätä etenemismuotoa kutsutaan myös yhteismuotoiseksi tai pitkittäiseksi.

Säteilevän sähkömagneettisen kentän ominaisuudet riippuvat säteilylähteestä, väliaineesta sekä lähteen ja tarkastelupisteen välisestä etäisyydestä. Lähellä säteilylähdettä kentän ominaisuudet määräytyvät pääasiassa säteilylähteen ominaisuuksista ja kaukana lähteestä taas suurelta osin väliaineen ominaisuuksista. Lähteen ympäristö voidaankin jakaa lähi- ja kaukokenttään. Kun etäisyys lähteestä on suurempi kuin kentän aallonpituus jaettuna  $2\pi$ :llä, on kentän aaltoimpedanssi yhtä suuri kuin väliaineen ominaisimpedanssi.



Lähikentässä aaltoimpedanssi eli sähkö- ja magneettikenttien suhde riippuu lähteen ominaisuuksista. Silmukka-antenni on pieni-impedanssinen ja siinä kulkee suuri virta, joten antennin lähellä magneettikenttä on hallitseva ja aaltoimpedanssi pieni. Sauva- ja lanka-antennin impedanssi on suuri ja virta näin ollen pieni, joten lähellä antennia aaltoimpedanssi on suuri, ja sähkökenttä on hallitseva.

Häiriöt voivat kytkeytyä laitteeseen johtumalla yhteisten impedanssien kautta, kapasitiivisesti, induktiivisesti tai sähkömagneettisena kenttänä. Johtuvat häiriöt kytkeytyvät laitteesta toiseen, kun laitteiden virrat kulkevat yhteisten paluujohtimien, maatasojen, suojamaiden tai minkä tahansa yhteisen impedanssin kautta. Kapasitiivinen kytkeytyminen tapahtuu johtimien välisten sekä johtimien ja laitteen muiden osien välisten hajakapasitanssien kautta.

Johtimessa kulkeva virta synnyttää ympärilleen magneettikentän. Induktiivinen kytkeytyminen tapahtuu, kun muuttuva magneettikenttä lävistää johdinsilmukan. Silmukassa syntyy silmukan pinta-alaan sekä magneettikentän vuontiheyteen ja muuttumisnopeuteen verrannollinen sähkömotorinen voima. Kun häiriöt siirtyvät sähkömagneettisena kenttänä, laitteen johtimet ja johdinsilmukat toimivat antennina sähkömagneettisille kentille. Johtimet ovat sitä tehokkaampia antennejä, mitä pitempiä ne ovat. Kytkeytyminen on tehokkainta, kun johtimen pituus vastaa kentän aallonpituuden puolikasta tai puolikkaan parittomia kerrannaisia. [Reinikainen 1988, s. 6-11]

### **2.1.3 Häiriintyminen**

Häiriötapauksen kannalta on myös oleellista, missä määrin sähkömagneettiset häiriöt huonontavat elektronisen laitteen toimintaa eli mikä on häiriövaikutus. SFS 5467 -standardissa häiriövaikutuksen asteita määritellään viisi:



Normaali toiminta	laitteen toiminta täyttää testin aikana kaikki spesifioidut vaatimukset
Pieni toimintahäiriö	aiheuttaa laitteen epäoleellisen toiminnan hetkellisen katkeamisen
Suuri toimintahäiriö	aiheuttaa laitteen oleellisen toiminnan hetkellisen katkeamisen tai huonontumisen, mutta toiminta palautuu itsestään
Toiminnan katkeaminen	aiheuttaa laitteen oleellisen toiminnan hetkellisen katkeamisen, mutta toiminta voidaan palauttaa entiselleen käyttäjän toimesta ilman huoltotoimenpiteitä
Vikaantuminen	aiheuttaa laitteen vioittumisen, jolloin vian täytyy rajoittua testauksen kohteena olevaan osaan.

Toimintahäiriön seurausten vakavuudessa on kolme astetta:

Vähäiset seuraukset	toimintahäiriön aiheuttama haitta on vähäinen ja lyhytaikainen, vika voidaan korjata nopeasti ja halvalla, ja vaihtoehtoisia laitteita on saatavissa
Normaalit seuraukset	toimintahäiriön aiheuttama haitta on rajoitettu, vika voidaan korjata, eikä käyttäjältä ulospäin näkyviä seurauksia aiheudu
Suuret seuraukset	toimintahäiriö aiheuttaa haittaa elintärkeään, keskitetyn järjestelmän toiminnalle tai vaarantaa turvallisuutta, ja vian korjaaminen tulee kalliiksi.

Standardien mukaisissa testauksissa käytettävät rasitusasteet on yleensä valittu normaaleille seurauksille. Mikäli toimintahäiriön seuraukset ovat vähäiset tai suuret, rasitusastevaatimuksia voidaan muuttaa vastaavasti harkinnan mukaan (esim.  $\pm 10\text{dB}$ ). Testauksien rasitusastevaatimukset tarkoittavat sitä, että rasitusasteen kohdassa "pieni toimintahäiriö" sallitaan pieni toimintahäiriö tällä rasitusasteella, mutta ei enää suurta toimintahäiriötä jne.

## 2.2 Standardit, suositukset ja määräykset

Laitteiden sähkömagneettista yhteensopivuutta säädellään standardeilla toisaalta rajoittamalla laitteen ympäristöön-  
sä tuottamia häiriöitä, toisaalta vaatimalla laitteen häiriötöntä toimintaa määrätyissä häiriöolosuhteissa. Standardeja on sekä sotilaslaitteita että siviililaitteita varten.

Tunnetuin ja laajimmin sovellettu sähkömagneettisten häiriöiden sotilasstandardi on amerikkalainen MIL-STD-461/462-standardi. Standardi on julkaistu 1960-luvun loppupuolella, tuorein versio siitä on MIL-STD-461C vuodelta 1986. MIL-standardin vaatimukset on luokiteltu neljään pääluokkaan: [Reinikainen 1988, s. 17-18]

- johtuvat häiriölähteet (CE01-CE07)
- johtuvien häiriöiden sieto (CS01-CS11)
- säteilevät häiriölähteet (RE01-RE06)
- säteilevien häiriöiden sieto (RS01-RS05)

Kansainvälisellä sähköalan standardisoimisjärjestöllä (IEC) on radiohäiriöitä käsittelevä erikoiskomitea (CISPR), joka antaa suosituksia alaa koskevista raja-arvoista ja mittausmenetelmistä. Suositukset kootaan CISPR:n julkaisuihin. Euroopan kansalliset standardit noudattavat hyvin pitkälle CISPR:n suosituksia.

IEC:n 801-standardit määrittelevät häiriönsietotestejä ammattielektroniikkalaitteille. Suomessa on tehty IEC 801-standardeista kansallisia SFS-standardeja SESKO:n toimesta.

Yhdysvaltain tietoliikennekomissio FCC (Federal Communications Commission) on asettanut vaatimuksia sähkö- ja elektroniikkalaitteiden tuottamille radiotaajuisille häiriöille FCC:n vaatimukset poikkeavat CISPR:n suosituksista. [FCC 1981].

Suomessa KOTEL (Elektroniikan komponenttien testauksen ja tutkimuksen yhteistyöelin) valmistelee suosituksia elektronisten laitteiden sähkömagneettisen yhteensopivuuden mittaamenetelmiksi. Esimerkkinä voidaan mainita suositukset elektroniikkalaitteiden häiriönsiedon mittaamenetelmistä ja radiohäiriöiden mittauslaitteille ja -menetelmille asetettavista vaatimuksista.

Suomen Standardisoimisliitto SFS r.y. on Suomen standardisoinnin keskusjärjestö. SFS vahvistaa ja julkaisee SFS-standardit, koordinoi suomalaisten standardien laadintaa sekä edistää standardien tunnetuksi tekemistä ja niiden käytön lisäämistä. [Suomen Standardisoimisliitto 1990, s. 7]

Standardit ovat periaatteessa teknisiä suosituksia, jotka on laadittu tiettyjen sääntöjen mukaisesti. Jotta standardit muuttuisivat määräyksiksi, on viranomaisen, Suomessa yleensä Sähkötarkastuskeskuksen, viitattava julkaisussaan kyseiseen standardiin. SFS-standardeista noin puolet on kokonaan tai osittain saatettu määräyksiksi.

### **2.3 Euroopan unioni ja EMC-direktiivi**

Euroopan unioni on taloudellinen ja poliittinen yhteensliittymä, jonka jäsenmaat avaavat rajansa toisilleen. Jäsenet ovat luovuttaneet yhteisille elimilleen kansallista päätäntävaltaa. Päätöksiä voidaan tehdä myös enemmistön äänin. EU muodostaa kansainvälisissä järjestöissä oman ryhmänsä. Euroopan unioniin kuuluvat Alankomaat, Belgia, Espanja, Irlanti, Iso-Britannia, Italia, Itävalta, Kreikka, Luxemburg, Länsi-Saksa, Portugali, Ranska, Ruotsi, Suomi ja Tanska.



Euroopan unionin pyrkimyksenä on muodostaa Euroopasta yhtenäinen markkina-alue. Tämä tietää EMC-alueellakin melkoista kehitystä ja muutosta lähivuosina. Tärkeää osaa kaupan esteiden poistamisessa esittää standardisoinnin yhdenmukaistaminen.

Euroopan unionin yhteistä lainsäädäntöä ohjataan direktiiveillä. Direktiivi eli ohjesääntö on EU:ssä päätetty laki tai muu säädös, joka koskee kaikkia jäsenmaita. Jäsenmaiden on muutettava omat kansalliset lakinsa direktiivien mukaisiksi tavallisesti 12-18 kuukauden kuluessa. [Helsingin Sanomat 1990, s. D3]

Direktiiveistä yksi on EMC-direktiivi; COUNCIL DIRECTIVE of 3 May 1989 on the approximation of the laws of the Member States to electromagnetic compatibility (89/336/EEC). Direktiivi sisältää 13 artiklaa ja kolme liitettä. Pääsisällön muodostavat viittaukset Eurooppa Normeihin (EN).  
*Liite 1*

EMC-direktiivin voimaantuloa on siirretty toisella direktiivillä; COUNCIL DIRECTIVE 92/31/EEC of 28 April 1992 amending Directive 89/336/EEC on the approximation of the laws of the Member States to electromagnetic compatibility. Direktiivissä on määritelty siirtymäaika 31.12.1995 saakka, jona aikana voidaan soveltaa vanhoja, voimassaolevia määräyksiä. *Liite 3*

Tällä hetkellä EMC-vaatimukset perustuvat pääosin kansallisiin asetuksiin. Suomessa sovelletaan kansallisia SFS-standardveja sekä myös kansainvälisiä, mm. IEC- ja CISPR-standardveja. EMC-direktiivin soveltaminen Euroopan unionin jäsenmaissa alkaa 01.01.1996, jolloin kansalliset lait otetaan käyttöön.

EMC-siirtymävaiheen aikana poikkeavat kansalliset vaatimukset on poistettava ja EMC:n varmentamisessa tullaan soveltamaan harmonisoituja standardeja.

Sähköalan standardeja maailmanlaajuisella tasolla laatii International Electrotechnical Commission (IEC). Eurooppalaisia sähköalan standardeja laatii Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (CENELEC), ja siellä EMC-standardeja erityisesti tekninen komitea TC 110 Electromagnetic compatibility. Komitean TC 110 työryhmä WG 001 Generic EMC Standards on laatinut ehdotuksen standardiksi, joka sisältää seuraavat ympäristöluokat:

- kotitalouksien, toimistojen ja kevyen teollisuuden ympäristöluokka,
- raskaan teollisuuden ympäristöluokka,
- erikoisympäristöluokka.

Kevyt teollisuus pitää sisällään työpajat, laboratoriot, palvelukeskukset ja muut vastaavat tilat. Näissä laitteistot on kytketty suoraan yleiseen jakeluverkkoon. Raskaan teollisuuden ympäristöluokassa laitteistot kytketään teollisuusverkkoon tehtaassa olevan jakelumuuntajan kautta.

CENELECin EMC-standardisointi pyrkii hyödyntämään olemassa olevat kansainväliset standardit. Laaditut standardit julkaistaan Eurooppa Normeina (EN). Suomen Sähköteknillinen Standardisointiyhdistys SESKO ry edustaa Suomea sähköalan kansainvälisissä standardisointijärjestöissä IEC:ssä ja CENELECissä. Kansainvälisen standardisoinnin tulokset sitovat Suomea, sillä olemme sitoutuneet omassa kotimaisessa standardisoinnissamme noudattamaan yhteisesti Euroopassa vahvistettuja standardeja.

Kansallisia EMC-standardeja laativat SESKOn kansalliset komiteat SK 77 Järjestelmien sähköinen yhteensopivuus ja SK CISPR Radiohäiriöt. Kansallinen komitea SK 77 EMC on edelleen jaettu kolmeen alaryhmään:

- 77 A; pientaajuiset häiriöt,
- 77 B; suurtaajuiset häiriöt,
- 77 C; sähkömagneettisen pulssin aiheuttamat häiriöt (EMP, electromagnetic pulse).

CENELEC:in EMC-komitea 110 on laatinut kotitalouksien, toimistojen ja kevyen teollisuuden ympäristöluokan eurooppalaiset standardit EN 50081-1 ja EN 50082-1. Nämä standardit ovat EMC-direktiivin (EEC/336/89) mukaisia ja pitävät sisällään sekä häiriönpäästöt että häiriönsiedon.

CENELEC:in EMC-komitea on laatinut eurooppalaiset raskaan teollisuuden ympäristöluokkaa koskevat EN 50081-2-standardin ja EN 50082-2-standardiehdotuksen. Nämä standardit ovat EMC-direktiivin (EEC/336/89) mukaisia ja pitävät sisällään sekä häiriönpäästöt että häiriönsiedon.

Tässä työssä on käytetty seuraavia standardeja:

#### Häiriönpäästö:

EN 55011	Teollisuudessa, tieteessä ja lääketieteessä käytettävien radio- taajuuslaitteiden radiohäiriöiden raja-arvot ja mittausmenetelmät
SFS-EN 55014:E	Kotitalouslaitteiden, siirrettävien sähkötyökalujen ja vastaavien sähkölaitteiden radiohäiriöiden raja-arvot ja mittausmenetelmät
SFS-EN 55022:E	Tietotekniikan laitteiden radio- häiriöiden raja-arvot ja mittaus- menetelmät
SFS-EN 60555-2	Kotitaloussähkölaitteiden aiheut- tamien verkkohäiriöt. Yliaallot
SFS-EN 60555-3	Kotitaloussähkölaitteiden aiheut- tamien verkkohäiriöt. Jännitteen vaihtelut

#### Häiriönsieto:

IEC 801-2 (SFS 5158)	Staattisen purkauksen sieto
IEC 801-3 (SFS 5466)	Suurtaajuuden sähkömagneettisen kentän sieto



IEC 801-4 (SFS 5350)	5/50 ns pulssin sieto
IEC 801-5 TC 65 (Sec) 137	Ylijännitteiden sieto
IEC 801-6 TC 65 (Sec) 144	Johtuvat radiotaajuiset häiriöt yli 9 kHz
DS 5104	Verkkojännitteen vaihtelun ja sähkökatkoksien sieto
TC 77B (Sec) 72	Verkkotaajuinen magneettikenttä

### 3. HÄIRIÖNSIETO

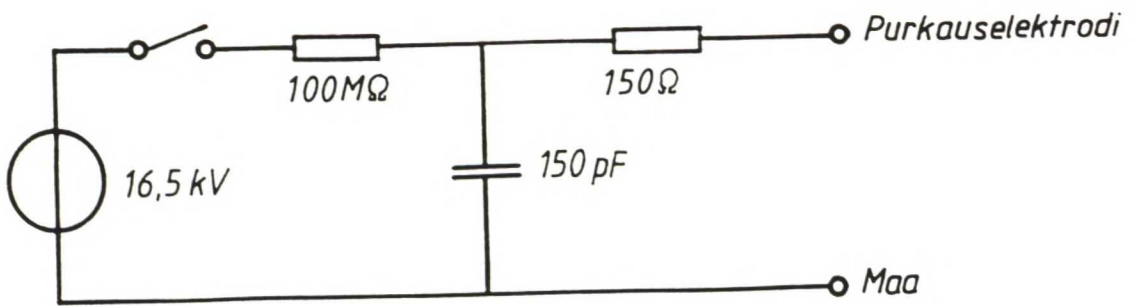
Sähkömagneettisen yhteensopivuuden mittaukset jaetaan laitteen tuottamien häiriöiden mittauksiin ja laitteen häiriönsiedon mittauksiin. Nämä voidaan vielä jakaa edelleen johtuvien ja säteilevien häiriöpäästöjen mittauksiin sekä johtuvien ja säteilevien häiriöiden siedon mittauksiin.

Häiriönsietomittauksissa testattavaan laitteeseen syötetään tietty häiriösignaali, joka vastaa käytännön tilanteissa esiintyviä häiriöitä. Häiriönsietomittauksen testauslaitteisto koostuu häiriön tuottavasta teholahteesta, häiriösignaalia muokkaavista piireistä ja kytkentäyksiköstä, jolla häiriö syötetään testattavaan laitteeseen. Häiriöenergia voidaan kytkeä testattavaan laitteeseen sähkömagneettisen kentän välityksellä tai galvaanisesti johtimiin tai laitteen runkoon. Häiritsevä kenttäkomponentti voi olla tasoaalto, sähkö- tai magneettikenttä. Tasoaalto synnytetään yleensä sovitetulla liuskajohdolla tai suurilla taajuuksilla laajakaistaisilla antennilla. Magneettikenttä voidaan tuottaa suurilla Helmholtzin keloilla tai pienellä kehäantennilla. Sähkökentän kytkemisessä käytetään kapasitiivista kytkentälaitetta, jolla häiriösignaali syötetään testattavan laitteen kaapelointiin.

#### 3.1 Staattisen purkauksen sieto

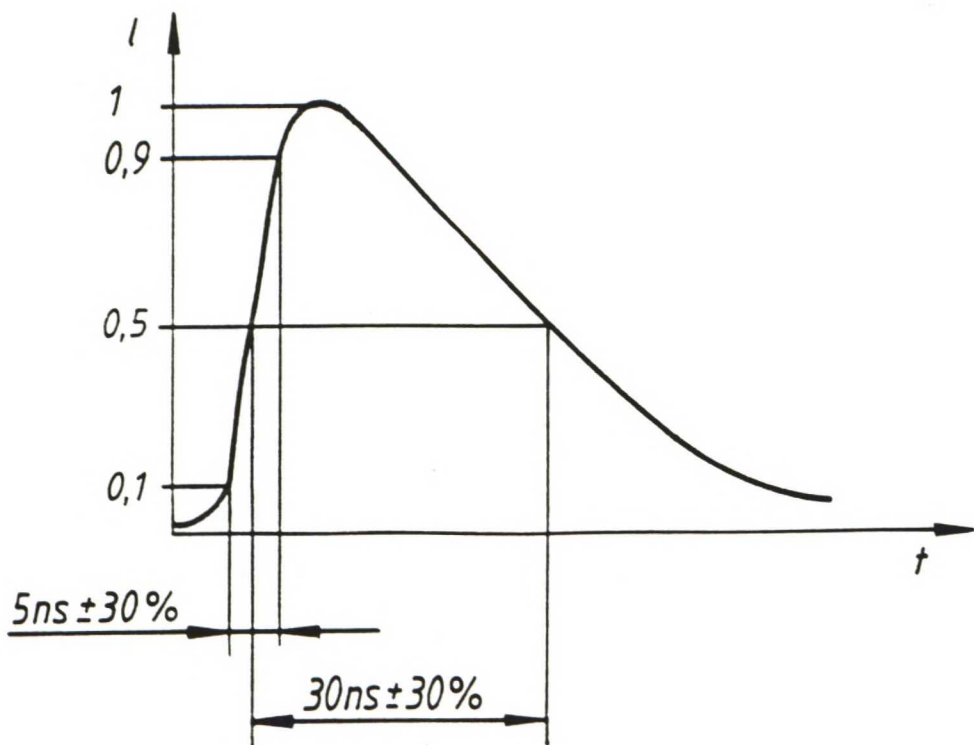
Staattisen purkauksen siedon testissä simuloidaan suoraan testattavaan laitteeseen kohdistuvaa tai laitteen lähellä tapahtuvaa staattista purkausta. Staattisen purkauksen testausmenetelmä on kansainvälisen standardin IEC 801-2 (1984) mukainen. Suomen Standardoimisliitto on julkaissut kyseisen standardin myös suomeksi (SFS 5158). Staattisen purkauksen rasitusasteet on määritelty SFS-standardissa 5467.

Staattisen purkauksen testauslaitteisto koostuu testausgeneraattorista, maatasosta ja sen maadoitusjohtimista sekä tarvittavista mittalaitteista. Testausgeneraattorin piirikaavio on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1 Testausgeneraattori

Staattisen purkauksen synnyttämän virtapulssin muoto riippuu testattavan laitteen ja testauskytkennän impedansseista. Jotta mittaustulokset olisivat keskenään vertailukelpoisia, testausgeneraattorin virtapulssin on täytettävä tietyt reunaehdot. Virtapulssin muoto on esitetty kuvassa 2. Purkauksen virtapulssin huippuarvo 15 kV:n jännitteellä on  $37 \text{ A} \pm 30 \%$ .



Kuva 2 Virtapulssi

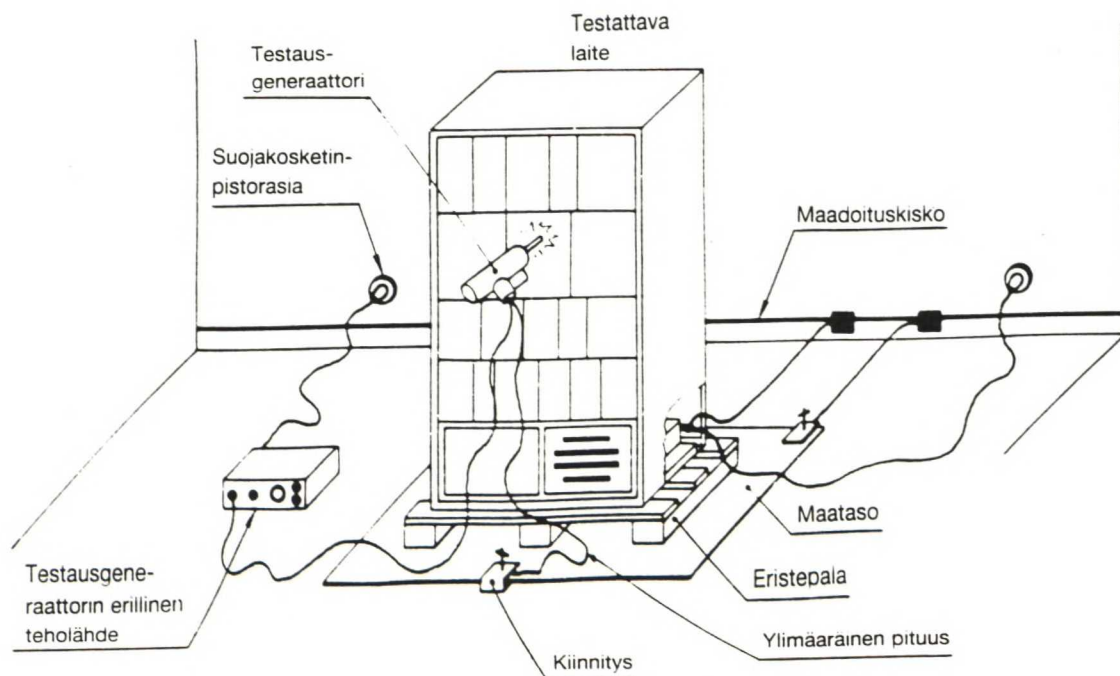
Testattava laitteisto sijoitetaan maatasolle, joka on metallilevyllä muodostettava yhteinen maapotentiaali testat-



tavalle laitteelle ja siihen kytketyille laitteille sekä testauslaitteille. Maatason on oltava vähintään 0,25 mm paksua kupari- tai alumiinilevyä. Levyn minimikoko on 1 m<sup>2</sup> ja maatason on ulotuttava joka suuntaan vähintään 10 cm testattavan laitteen ulkopuolelle.

Maataso maadoitetaan laboratorion maadoituskiskoon. Testattava laite kytketään laitteen toiminnan vaatimalla tavalla. Minimietäisyys laitteen osien ja laboratorion seinien ja muiden metalliosien välillä on 1 m. Testattava laite maadoitetaan laitteen normaalien asennusohjeiden mukaisesti laboratorion maadoituskiskoon. Ylimääräisiä maadoituksia ei sallita.

Testausgeneraattorin maadoitusjohdin kytketään maatasoon. Maadoitusjohtimen etäisyyden testattavasta laitteesta tulee olla vähintään 10 cm. Maadoitusjohtimen liitännän maatasoon, kuten muidenkin liitäntöjen, on oltava pienimpedanssinen eli on käytettävä suurtaajuudelle sopivia tarvikkeita. Esimerkki laitekehikon testausjärjestelystä on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3 Laborioriotesti laitekehikolle

Ympäristön vaikutuksen minimoimiseksi testaus suoritetaan määritellyissä ilmasto-olosuhteissa. Lisäksi sähkömagneettisen ympäristön on oltava sellainen, että se ei vaikuta testaustuloksiin.

Testattavan laitteiston lähellä tapahtuvia purkauksia simuloidaan kohdistamalla purkaus maatasoon. Vähintään 10 yksittäistä purkausta kohdistetaan maatasoon testattavan laitteen kaikilta kosketeltavissa olevilta puolilta.

Staattinen purkaus kohdistetaan ennalta valittuihin kohteisiin yksittäisinä purkauksina. Purkauksia annetaan kuhunkin kohteeseen 10 kappaletta ja niiden väli on 1 sekunti. Testaus suoritetaan, kun taajuusmuuttajaa kuormitetaan tyhjäkäyvällä moottorilla.

SAMI Flowstar 100 kVA -taajuusmuuttajalle tehtiin tyyppikoe 4-15 kV jänniteellä. Staattinen purkaus kohdistettiin 19 kohtaan laitteen eri puolilla. Taajuusmuuttaja läpäisi testin ja toimi normaalisti testin aikana. Testistä laadittiin tyyppikoeohjeet sekä kirjattiin testauspöytäkirjat.

*Liite 2*

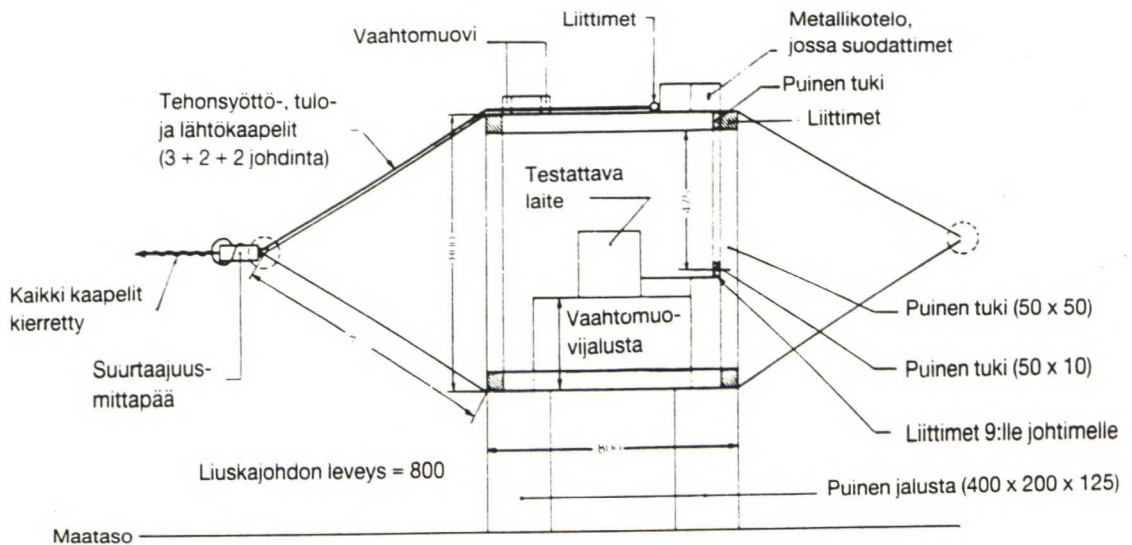
### **3.2 Suurtaajuuden sähkömagneettisen kentän sieto**

Suurtaajuuden sähkömagneettisen kentän siedon testissä määritellään laitteen immunitetti 27 ... 500 MHz:n taajuuden sähkömagneettisen kentän osalta. Testissä simuloitava häiriön aiheuttava lähete on tyypillisesti jokin laitteen asennuspaikan lähellä oleva yleisradiolähetin, amatöörilähetin, radiopuhelin yms. Testi voidaan toteuttaa joko liuskajohtomenetelmällä tai testaamalla laitteisto häiriösuojatussa huoneessa.

Liuskajohtotestissä testattavan laitteiston vieritse kulkee liuskajohtoja, jotka saavat aikaan sähkökentän voimakkuuden, jolle laite altistetaan. Liuskajohtotestit pyritään tekemään niin pienillä taajuuksilla, että liuskajohdossa etenee vain puhdas TEM-aaltomuoto. Tällöin johdossa etenee

aaltomuoto, jossa sekä sähkökentän että magneettikentän etenemissuuntaiset komponentit ovat nollija. Liuskajohtoja on olemassa 2-tasoisia ja 3-tasoisia, symmetrisiä ja epäsymmetrisiä sekä avoimia ja suljettuja johtoja. Niiden ominaisimpedanssi on joko 50 ohmia tai 180 ohmia.

Testattava laitteisto sijoitetaan liuskojen väliin suunnitteen keskelle eristeainetta olevien tukien varaan. Testattava laite asennetaan ja ulkoiset johdotukset kytketään mahdollisimman lähelle lopullista asennusta vastaaviksi. Etäisyyden rakenteeltaan avoimesta liuskajohdosta huoneen seiniin tai metallisiin rakenteisiin on oltava 2 m tai yli. Kuvassa 4 on esitetty liuskajohdon päämitat ja testausjärjestelyt 2-tasoisella symmetrisellä liuskajohdolla.



Kuva 4 Liuskajohdon päämitat ja testausjärjestelyt

Testattaessa isoja laitteistoja, kuten taajuusmuuttajaa, liuskajohtotesti on erittäin vaikea tehdä, sillä johtojen pituudet ja kytkennän vaatima vapaa tila kasvavat aivan liian suuriksi. Tällöin myös liuskojen väli kasvaa suureksi, mikä puolestaan rajoittaa käytettävän testaustaajuuden lähelle alarajaa.

Liuskajohtoon muodostuu seisova aalto eli ajan suhteen vakiona pysyvä sähkömagneettinen kenttä, joka on etenevän aallon ja kuormasta heijastuneen vastakkaiseen suuntaan



etenevän aallon summa-aalto. Liuskajohto on sovitettava siten, että tyhjän liuskajohdon syötössä mitatun seisovan aallon suhteen tulee olla kaikilla mittaustaajuuksilla  $\leq 1,5$ . Seisovan aallon suhde on tietyn kenttäkomponentin paikan suhteen mitattujen maksimiarvon ja minimiarvon suhde.

Liuskajohtotestissä testausgeneraattorista tai sitä seuraavasta vahvistimesta on saatava teho, joka määritellään kaavasta

$$P = E^2 s^2 / Z_C ,$$

jossa  $P$  = lähtöteho

$E$  = rasitusasteen määrittelemä sähkökentän voimakkuus

$s$  = liuskan ja maatason välimatka

$Z_C$  = liuskajohdon ominaisimpedanssi

Suurtaajuisen sähkömagneettisen kentän sieto voidaan testata myös häiriösuojatussa huoneessa. Häiriösuojatun huoneen seiniin on rakennettu erityinen suojausrakenne, tavallisesti metallipellistä tai -verkosta, vaimentamaan radiotaajuuksia häiriöitä. Sähkökentän voimakkuus huoneessa saadaan aikaan generaattorin ja antenneiden avulla. Testaustaajuutena käytetään korkeampia taajuuksia kuin liuskajohtomittauksissa.

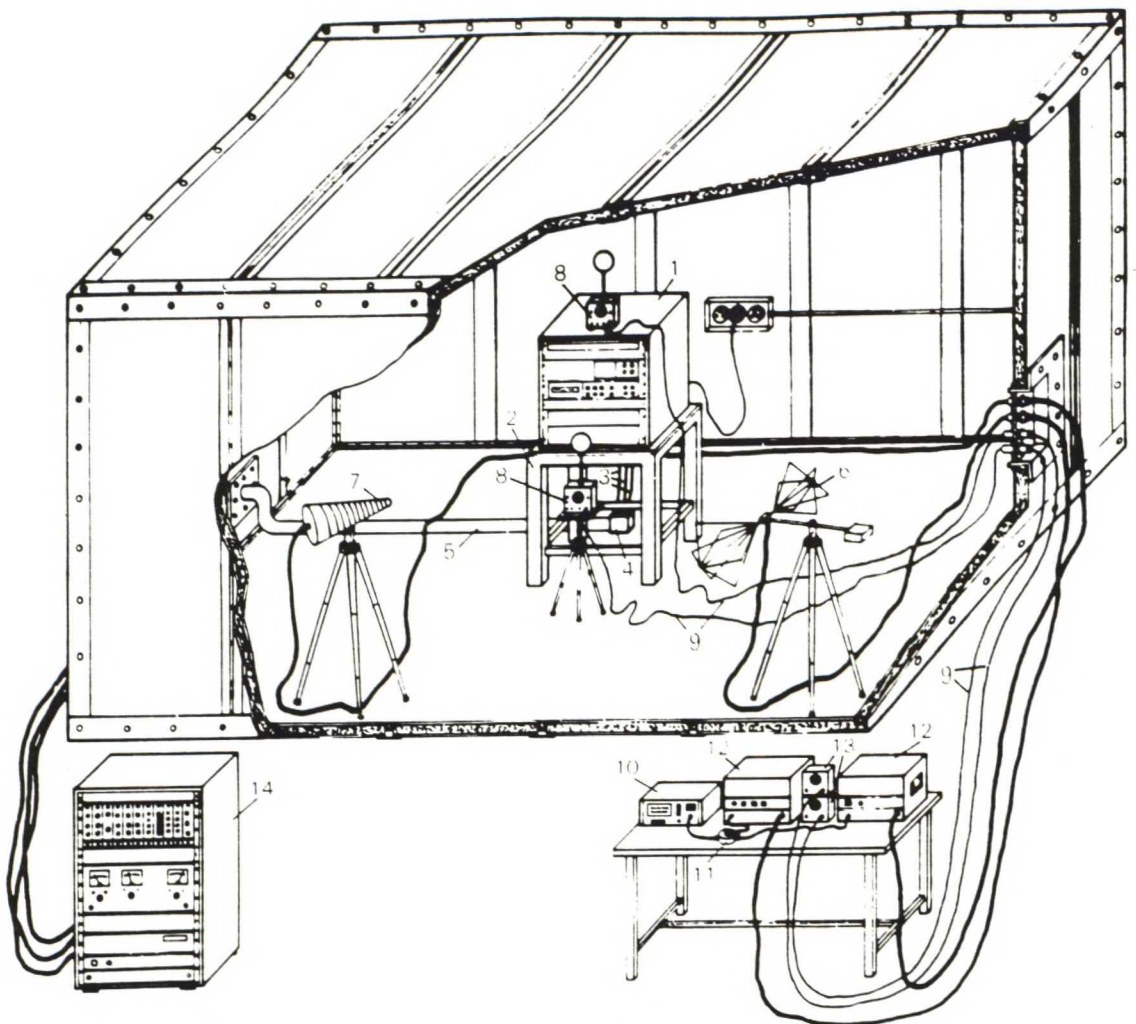
Huoneen mittojen lähestyessä käytetyn taajuuden aallonpituuden luokkaa suojattu huone alkaa toimia resonanssiontelona, jossa esiintyy voimakkaita seisovia aaltoja. Seisovat aallot esiintyvät voimakkaimmin huoneen resonanssitaajuuksilla. Suorakulmaisen särmiön muotoisen huoneen alin resonanssitaajuus voidaan laskea kaavasta

$$f_{\text{res}} = \frac{150 \text{ [MHzm]}}{a \text{ [m]}} ,$$

jossa  $a$  on huoneen pisimmän särmän pituus.

Testi tulisi pyrkiä suorittamaan taajuuksilla, jotka ovat suurempia kuin kymmenen kertaa huoneen alin resonanssitaajuus. Testiä ei voida tehdä taajuuksilla, jotka ovat pienempiä kuin neljä kertaa huoneen alin resonanssitaajuus. Näin ollen huoneen pisimmän särmän pituuden ollessa 6 m on alin käytettävä testaustaajuus tällöin 100 MHz.

Testattavan laitteen asennukset tehdään mahdollisimman tarkkaan lopullista asennustapaa noudattaen. Johdotukset noudattavat valmistajan ohjeita, ja kaikki paneelit ja peitelevyt on asennettu paikoilleen, ellei toisin ole sovittu. Kuvassa 5 on esitetty testausjärjestely häiriösuojatussa huoneessa. Antennit ja kentävoimakkuusmittarit ovat huoneen sisällä ja muut testauslaitteet huoneen ulkopuolella.



Kuva 5 Testausjärjestely häiriösuojatussa huoneessa

Antennitestissä testausgeneraattorista tai sitä seuraavasta vahvistimesta on saatava teho, joka määritellään kaavasta

$$P = 4 \pi r^2 E^2 / (G Z_0) ,$$

jossa  $r$  on mittausetäisyys testissä

$G$  on antennin tehovahvistus verrattuna isotrooppiseen antenniin

$Z_0$  on tyhjiön ominaisimpedanssi.

Testausantennille on tiedettävä antennin vahvistus, joka on koko käyttöalueella pienempi kuin  $\pm 3$  dB. Suositeltavat antennityypit on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1 Lähetyssantennityyppejä

Antenni	Tyypillinen taajusalue
Kaksoiskartioantenni (bi-conical antenna)	20 ... 200 MHz
Kartiospiraalianntenni (conical log spiral antenna)	0,2 ... 1 GHz Ympyräpolarisaatio
Logperiodinen antenni (log periodic antenna)	0,2 ... 1 GHz
Kartiospiraalianntenni	1 ... 10 GHz Ympyräpolarisaatio

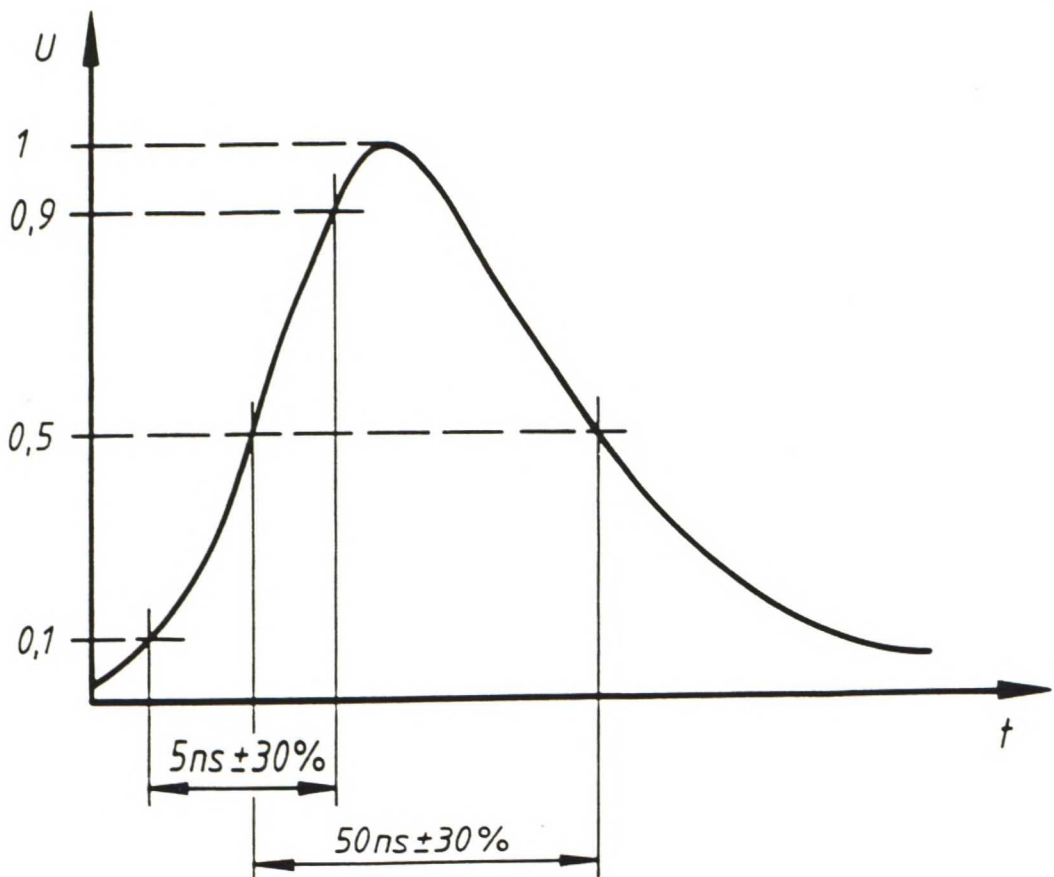
Suurtaajuksen sähkömagneettisen kentän sietoa voidaan testata myös yksinkertaisen radiopuhelintestin avulla. Testi on tarkoitettu tuotanto- tai asennusvaiheessa suoritettavaksi pikatarkistustestiksi, jolloin testattavaa laitteistoja käytetään mahdollisuuksien mukaan normaalia muistuttavissa olosuhteissa. Testin aikana radiopuhelinta liikutellaan mittausetäisyyden (1 m) päässä laitteesta eri puolilla laitetta lähetyssantennin pysty- ja vaaka-asennoissa. Lähetyssjaksoon kussakin lähetyssantennin asennossa tulee



sisältyä muutamia lähettimen päälle-/pois-kytkemisiä ja lyhyt puhelähetysjakso. Testauslähettimenä käytettävän radio-puhelimen tyyppi ja käytetty lähetystaajuus voidaan valita testattavan laitteen käyttöolosuhteiden mukaisesti.

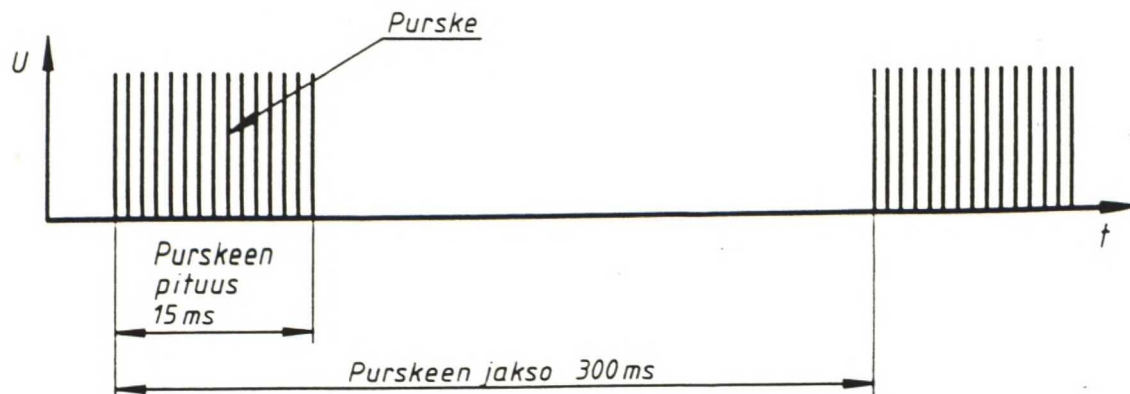
### 3.3 5/50 ns:n pulssin sieto

5/50 ns:n pulssin siedon testauksen tarkoituksena on simuloida kytkentä- ja katkaisuilmiöissä syntyviä toistuvia purskeita, jotka siirtyvät pääasiassa kapasitiivisesti tai johtumalla syöttöjännite- tai signaalipiireihin. Purskeella tarkoitetaan kestoajaltaan lyhyiden ( $t < 150 \mu s$ ) pulssien jonoa. Testauspurskeelle on ominaista lyhyt nousuaika, toistuvuus ja pieni energia. Kuvassa 6 on esitetty yhden pulssin aaltomuoto 50 ohmin kuormaan.



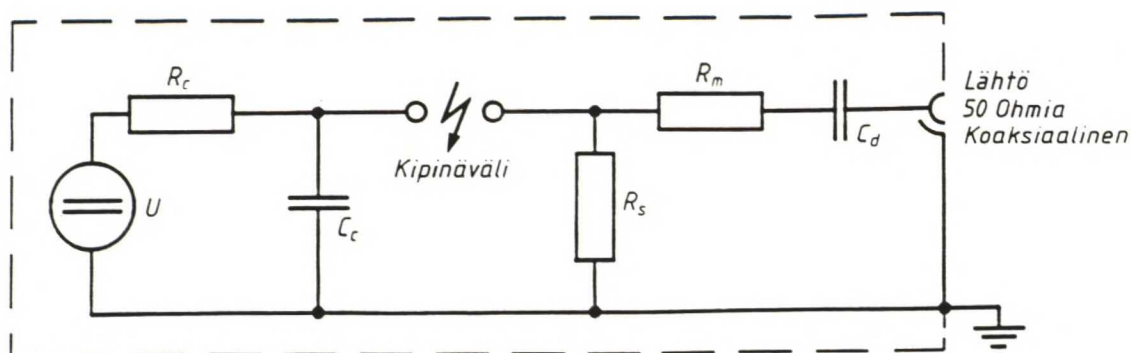
Kuva 6 Yhden pulssin aaltomuoto 50 ohmin kuormaan

Jännitepurskeen yksittäisen pulssin nousuaika on 5 ns ja sen amplitudi laskee 50% alkuperäisestä arvostaan 50 ns:n kuluttua. Testausgeneraattorin antaman purskeen kesto on 15 ms ja jaksonaika 300 ms, kuten käy ilmi kuvasta 7.



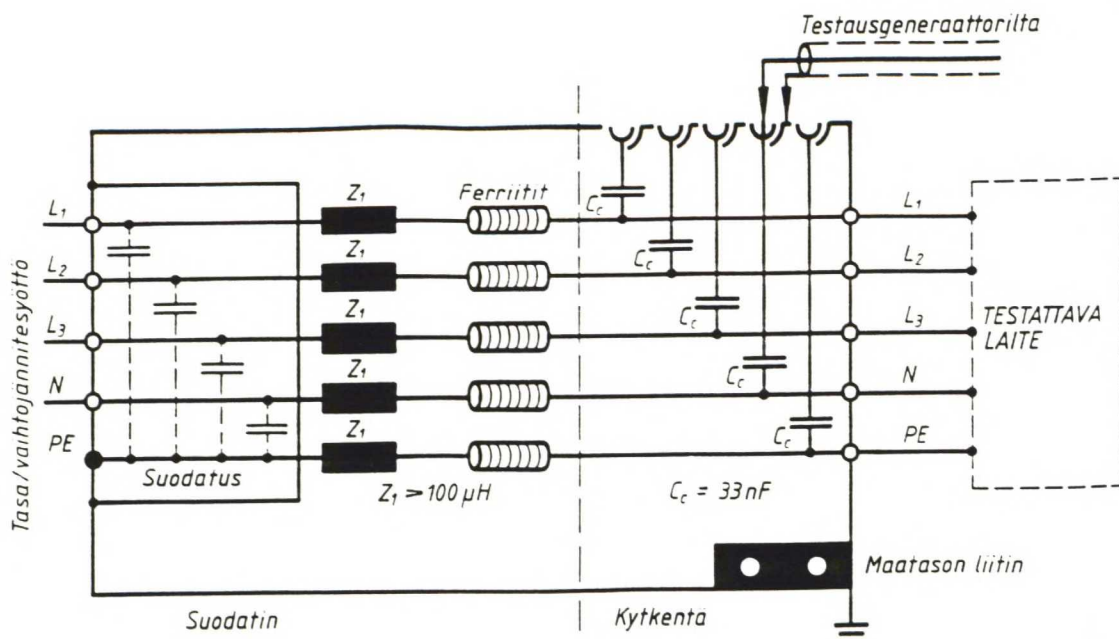
Kuva 7 Toistuvan purskeen kuvaus

Testauksessa käytetään testausgeneraattoria, joka generoi purskeen. Generaattori lataa varauskondensaattoria, joka purkautuu kipinävälin kautta. Kuvassa 8 on esitetty purskegeneraattorin yksinkertaistettu kaavio.



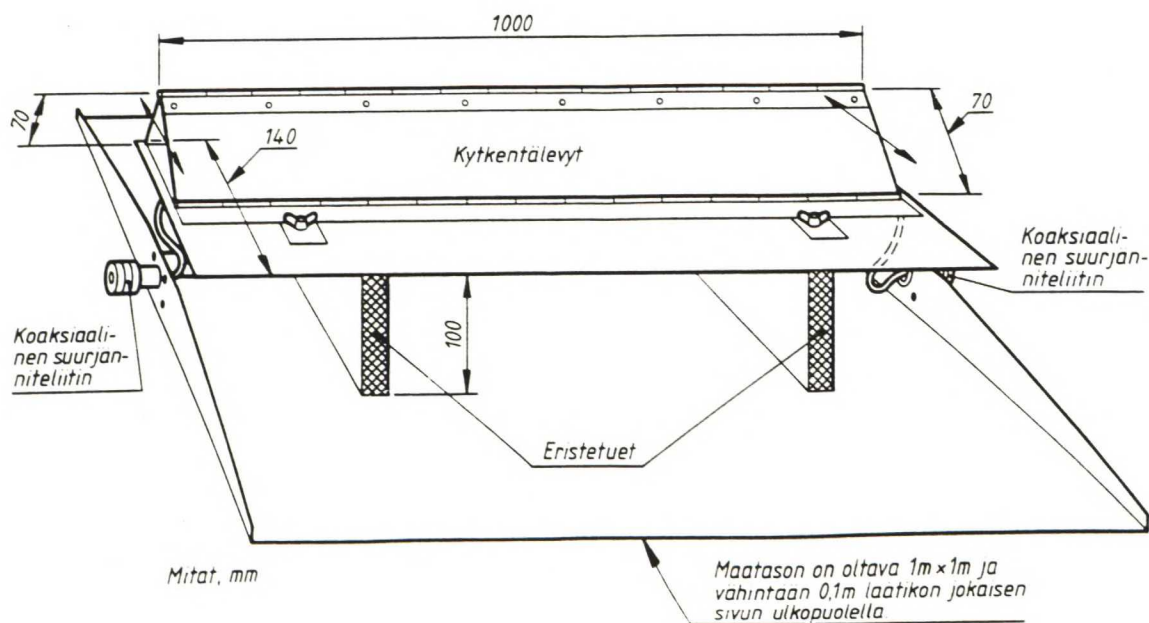
Kuva 8 Purskegeneraattorin yksinkertaistettu kaavio

Testattaessa tehonsyöttöliittimiä testausgeneraattorin jännitepulsseja kytketään liittimiin kytkentäverkon avulla. Kytkentäverkko estää häiriösignaalin etenemisen verkkoon ja varmistaa, että häiriö menee testattavaan laitteeseen. Kytkentäverkon avulla häiriösignaali voidaan helposti kytkeä halutun vaiheen ja suojamaan välille ja myös kahden vaiheen välille. Kytkentäverkon piirikaavio on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9 Kytkentäverkon piirikaavio

Testattaessa taajuusmuuttajan kauko-ohjauspaneelin ohjaus- ja signaalijohtimia, testausgeneraattorin jännitepurske kytketään kapasitiivisen kytkentälaitteen avulla. Kapasitiivinen kytkentälaitteen rakenne on esitetty kuvassa 10. Ohjauspaneelin johto asetetaan kytkentälaitteen sisälle, ja häiriösignaali kytketään kapasitiiviseen kytkentälaitteeseen 50 ohmin liittimellä.



Kuva 10 Kapasitiivisen kytkentälaitteen rakenne



SAMI Flowstar 100 kVA -taajuusmuuttajalle tehtiin tyyppikoe. Tyyppikokeessa taajuusmuuttajan tehonsyöttöliittimet testattiin 4,0 kV jännitteellä keinoverkon avulla ja kauko-ohjauspaneelin johto testattiin 2,0 kV jännitteellä kapasitiivisen kytkentälaitteen avulla. Taajuusmuuttaja läpäisi testin ja toimi normaalisti testin aikana. Testistä laadittiin tyyppikoeohjeet sekä kirjattiin testauspöytäkirjat.

### 3.4 Syöksyjännitteen sieto

Syöksyjännitetesti on testi, jolla pyritään todistamaan, että testattava laitteisto pystyy kestäämään kytkentätransienttien tai salaman aiheuttamia jännitepiikkejä ilman, että sen komponentit vioittuvat.

KytKentätransientteja aiheuttavat

- suuret sähköjärjestelmän kytkentähäiriöt, kuten kondensaattoriryhmän kytkentä,
- pienet kytkentätoimet laitteiston lähellä tai kuorman vaihtelut sähkönjakelujärjestelmässä,
- kytkentälaitteiden resonoivat piirit, kuten tyristorit,
- erilaiset järjestelmän viat, kuten laitteiston maadoitusjärjestelmän oikosulut.

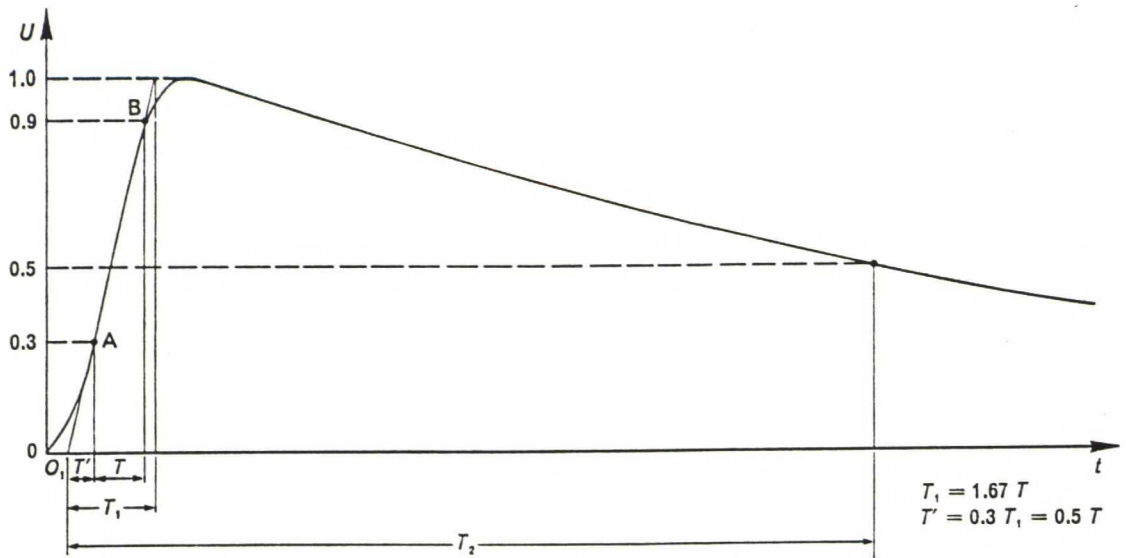
Salaman aiheuttamia transientteja ovat

- salaman iskut suoraan ulkoiseen piiriin (ulkoilmassa), jolloin salaman aiheuttama korkea virta synnyttää korkean jännitteen kulkiessaan joko maaresistanssin tai ulkoisen piirin syöksyimpedanssin kautta,
- epäsuorat salaman iskut (pilvien välillä tai sisällä), jotka voivat indusoida jännitteitä ja virtoja rakennuksen sisällä tai ulkona oleviin johtimiin,
- salaman iskut, jotka ei kohdistu sähköverkkoon vaan läheiseen kohteeseen aiheuttaen sähkömagneettisen

kentän, joka indusoi jännitteitä ulkona oleviin joh-  
timiin,

- salaman maavirrat, jotka aiheutuvat läheisistä suo-  
raan maahan tapahtuvista purkauksista, jotka kytkey-  
tyvät laitteiston maadoitusjärjestelmän yhteismaa-  
reittiin.

Testin aikana testattavan laitteiston liittimiin annetaan  
muutama korkeaenerginen jännitepulssi. Kuormittamattoman  
testausgeneraattorin jännitepulssin muoto on esitetty ku-  
vassa 11.



Kuva 11 Kuormittamattoman testausgeneraattorin  
jännitepulssi

Jännitepulssin nousuaika on  $1,2 \mu\text{s}$  ja sen amplitudi laskee  
50% alkuperäisestä arvostaan  $50 \mu\text{s}$ :n kuluttua. Testauksessa  
käytetään testausgeneraattoria, joka generoi jännitepuls-  
sin. Testattaessa tehonsyöttöliittimiä testausgeneraattorin  
jännitepulssi kytketään liittimiin käyttämällä kytkentä-  
verkkoa. Kytkentäverkko estää häiriösignaalin etenemisen  
verkkoon ja varmistaa, että häiriö menee testattavaan lait-  
teeseen. Kytkentäverkon avulla häiriösignaali voidaan hel-  
posti kytkeä halutun vaiheen ja suojamaan välille ja myös  
kahden vaiheen välille.

SAMI Flowstar 100 kVA -taajuusmuuttajalle tehtiin tyyppikoe. Kokeessa käytettiin IEC 60-2 standardin mukaista 1,2/50  $\mu$ s:n jännitepulssia, jonka amplitudi oli 3,7 kV. Taajuusmuuttaja läpäisi testin ja toimi normaalisti testin aikana. Testistä laadittiin tyyppikoeohjeet sekä kirjattiin testauspöytäkirjat.

Salaman aiheuttaman häiriön simuloimiseksi on tulossa uusi, vielä luonnosvaiheessa oleva standardi IEC 801-5. Uudessa standardissa häiriösignaali muodostuu jännitepulssin lisäksi myös virtapulssista. Signaaligeneraattorin on annettava 1,2/50  $\mu$ s:n jännitepulssi sekä 8/20  $\mu$ s:n virtapulssi samasta ulostulosta. Generaattori on spesifioitu näin, sillä todellisen salaman iskiessä jännitepulssin jälkeen tulee automaattisesti ja välittömästi myös virtapulssi. Pulssien aaltomuodot on valittu siten, että ne parhaiten kuvastavat luonnossa tapahtuvaa ilmiötä.

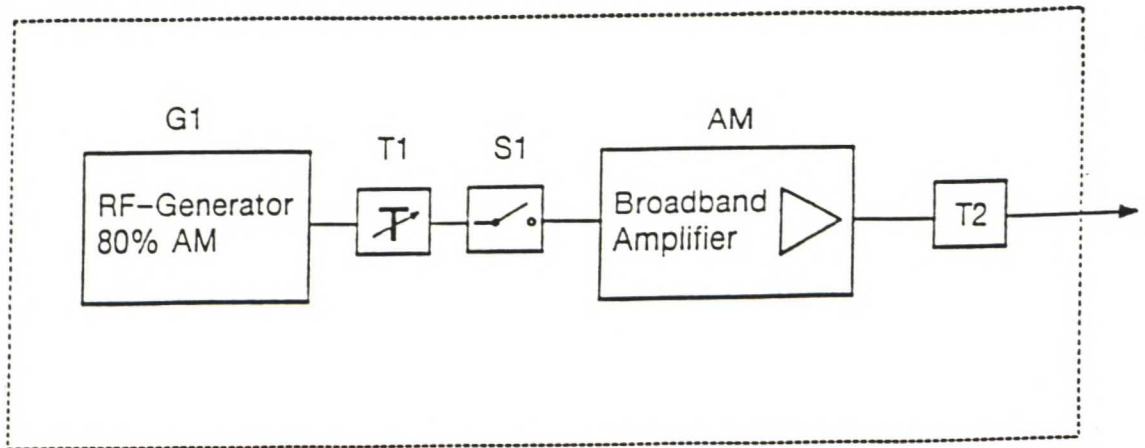
### 3.5 Johtuvien radiotaajuisten häiriöiden sieto

Johtuvien radiotaajuisten häiriöiden siedon testissä määritellään laitteen immunitetti 150 kHz ... 230 MHz:n taajuisten häiriöiden osalta. Taajuusalueella 26 ... 230 MHz testi on valinnainen suurtaajuisen sähkömagneettisen kentän siedon testin kanssa, sen on siis täytettävä vähintään toisen testin vaatimukset tällä taajuusalueella. Testissä simuloitava häiriön aiheuttava lähete on tyyppillisesti jokin sähkömagneettinen säteilijä, joka lähettää häiriön laitteen kaapeleihin ja johtoihin. Laitteistoon liittyvät johdot, kuten tehonsyöttö-, ohjaus- ja signaali-johdot, toimivat vastaanottavina antenneinea, sillä niiden pituudet voivat olla useita aallonpituuksia. Testi soveltuu parhaiten häiriöiden aallonpituuksiin nähden pienille laitteistoille, jotka ovat yleensä isomman järjestelmän osia.

Testauksessa käytetään häiriölähdettä, jonka on kyettävä generoimaan radiotaajuisia häiriöitä halutulla taajuuskaisella. Häiriögeneraattorissa tulee olla sisäinen amplitudi-modulointi 1 kHz:n siniaallolla 80%:n syvyydellä.



Kuvassa 12 on esitetty häiriölähteen rakenne. Generaattorin ulostulossa on vaimennin T1, jolla voidaan säätää häiriögeneraattorin ulostulon tasoa ja kytkin S1, jolla häiriösignaali voidaan kytkeä päälle ja pois päältä. Seuraavana on laajakaistainen vahvistin, joka vahvistaa häiriösignaalin, jos generaattorin teho ei ole riittävä. Sovitusvaimentimen T2 (kiinteä 6dB, 50 ohm) avulla signaali saadaan helposti sovitettua kytkentäverkkoon.



Kuva 12 Häiriölähteen rakenne

Testausgeneraattorin häiriösignaali kytketään testattavan laitteen tehonsyöttöön kytkentäverkon avulla. Kytkentäverkko estää häiriösignaalin etenemisen verkkoon ja varmistaa, että häiriö menee testattavaan laitteeseen. Testattavan laitteen ja kytkentäverkon alla on oltava maataso, joka ulottuu 0,5 m laitteiston reunojen yli. Laitteiston ja maatason välissä on oltava 10 cm:n eristävä tuki. Testattava laite asennetaan ja ulkoiset johdotukset kytketään mahdollisimman lähelle lopullista asennusta vastaaviksi.

Testi tulee suorittaa testaussuunnitelman mukaisena. Testaussuunnitelmassa on määriteltävä seuraavat tekijät:

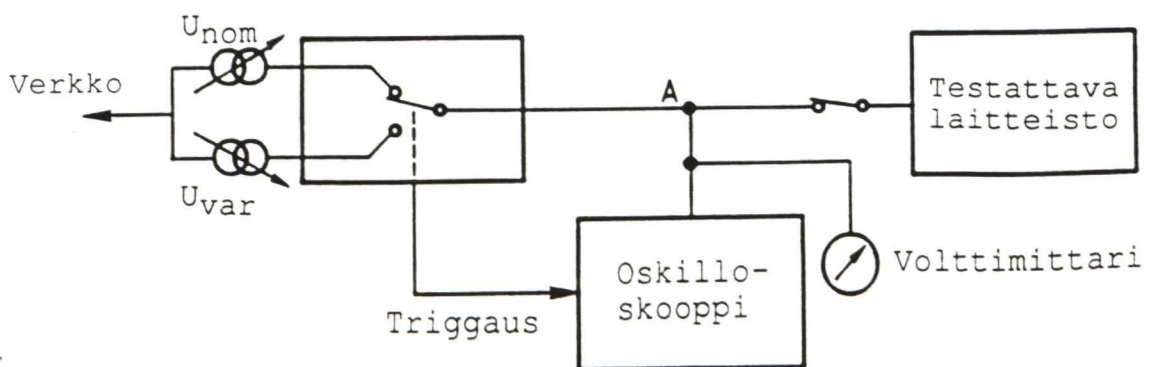
- testissä käytettävä jännitetaso,  $U_0$
- käytettävät kytkentäverkot ja niiden kytkentäkertoimet
- testattavat kaapeloinnit ja virtapiirit
- testattavan laitteiston käyttö testin aikana
- käytettävät liitälaitteet ja niiden kytkentä maahan

- häiriösignaalin kytkeminen testattavaan laitteistoon
- häiriölähteen pyyhkäisy nopeus ja modulointi.

### 3.6 Verkkojännitteen vaihtelun ja sähkökatkokkien sieto

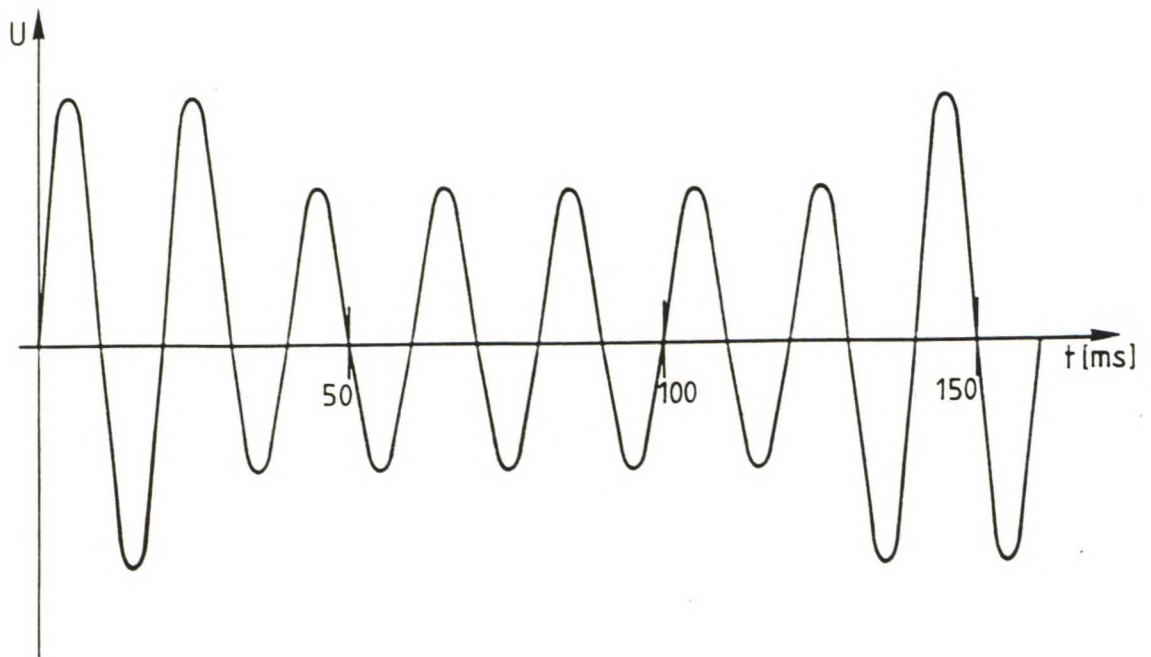
Jakeluverkon jännite ei käytännössä ole aina vakio, vaan siihen vaikuttavat suhteellisen pitkäaikaiset pienemmät poikkeamat sekä myös lyhytaikaiset suuremmat poikkeamat. Jakeluverkkoon kytkettävien sähkölaitteiden on täten kestettävä tietyt verkkojännitteen vaihtelut ja lyhytaikaiset sähkökatkokset.

Verkkojännitteen vaihtelun siedon testissä lyhytaikaista verkkojännitteen vaihtelua simuloidaan kytkemällä testattava laite sijaisverkkoon 10 tai 100 ms:n ajaksi. Testauksessa käytettävän sijaisverkon jännite on joko 50 % tai 70 % nimellisjännitteestä. Sijaisverkon jännite saadaan esim. säätömuuntajalla tavallisesta verkkojännitteestä. Kytkeytyminen sijaisverkkoon tapahtuu jännitteen nollakohdassa. Kytkejärjestely käy ilmi kuvasta 13.



Kuva 13 Verkkojännitteen vaihtelun siedon testausjärjestely

Kuvassa 14 on esitetty jännitteen muoto, kun sijaisverkko (50% nimellisjännitteestä) on kytketty päälle 100 ms:n ajaksi.



Kuva 14 Verkkajännitteen 50 %:n pudotus 100 ms:n ajaksi

Sähkökatkokkien siedon testissä lyhytaikaista sähkökatkosta simuloidaan pudottamalla jännite 20 %:iin nimellisjännitteestä tai alhaisempaan arvoon. Taulukossa 2 on esitetty tanskalaisen DS 5104 -standardin mukaiset jännitteen muutoksien kestoajat.

Taulukko 2 Jännitteen muutoksien kestoajat

	Jännitteen lasku	Alhainen jännite	Jännitteen nousu
Nopea muutos	0,2 s	0,3 s	0,2 s
Hidas muutos	2,0 s	0,5 s	2,0 s

Testissä generoidaan kaksi eri jännitteen putoamista, nopea muutos ja hidas muutos. Testi toistetaan viisi kertaa 10 sekunnin välein. Kuvasta 15 käy ilmi jännitteen tehollisarvon muoto testin aikana.





Kuva 15 Jännitteen tehollisarvon muoto sähkökatkостestissä

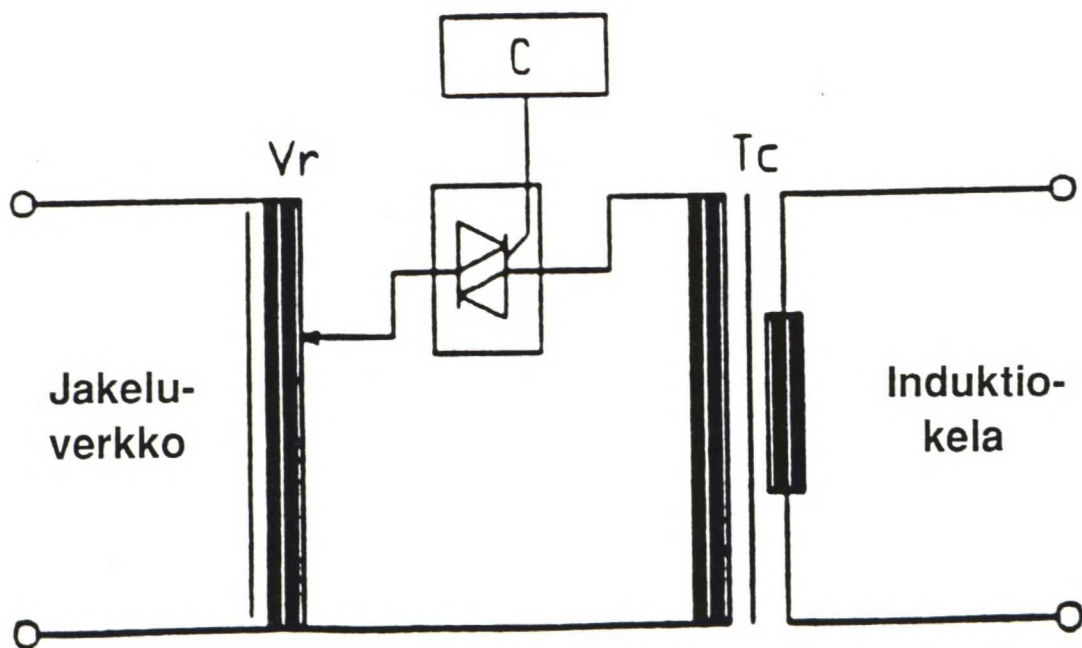
Testi on toteutettava sekä hitaalla että nopealla muutoksella 20 %:n ja 50 %:n jännitetasoilla. Tanskalaisen DS 5104 -standardin pohjalta on valmisteilla uusi eurooppalainen standardi, joka tulee sisältymään direktiivin vaatimuksiin. [Peurala, 1991]

### 3.7 Verkkotaajuuden magneettikentän sieto

Kun sähkövirta kulkee johtimessa, se saa aikaan magneettikentän. Tämä magneettikenttä on voimakas erityisesti jakeluverkon taajuudella (50 Hz tai 60 Hz). Magneettikenttä voi häiritä laitteiden ja järjestelmien luotettavaa toimintaa. Kotitalouksissa on mitattu 0,03...21 A/m:n magneettikentän voimakkuuksia 0,3 metrin etäisyydeltä. Kentän voimakkuus pienenee etäisyyden neliöön verrattuna ja 1,5 metrin etäisyydeltä mitattuna kotitalouksissa 95% mittauksista se oli alle 0,1 A/m. Teollisuusympäristössä virrat ovat suurempia ja samoin niiden aiheuttamat magneettikentän voimakkuudet. Generaattorin 2,2 kA virtakiskon läheisyydessä on mitattu 14...36 A/m:n magneettikentän voimakkuuksia 0,3 metrin etäisyydeltä. [Gauger, 1985]

Teollisuusympäristöön asennettavien laitteiden on siedettävä tietty verkkotaajuinen magneettikenttä häiriintymättä. Uudessa CENELEC TC 110:n laatimassa eurooppalaisessa standardissa teollisuusympäristöön asennettavan laitteen on kestättävä jatkuvaa 30 A/m:n magneettikentän voimakkuutta ja lyhytaikaista 300 A/m:n magneettikentän voimakkuutta. Laitteiston testausjärjestelyn on oltava IEC:n 77B(Sec)72-standardin mukainen. Testauslaitteistossa tulee olla virtaa syöttävä testigeneraattori, jonka lisäksi tarvitaan virran mittauslaitteet sekä induktiokela, joka säteilee magneettikentän testattavaan laitteistoon, maataso ja keinoverkko testattavan laitteiston tehonsyöttöön.

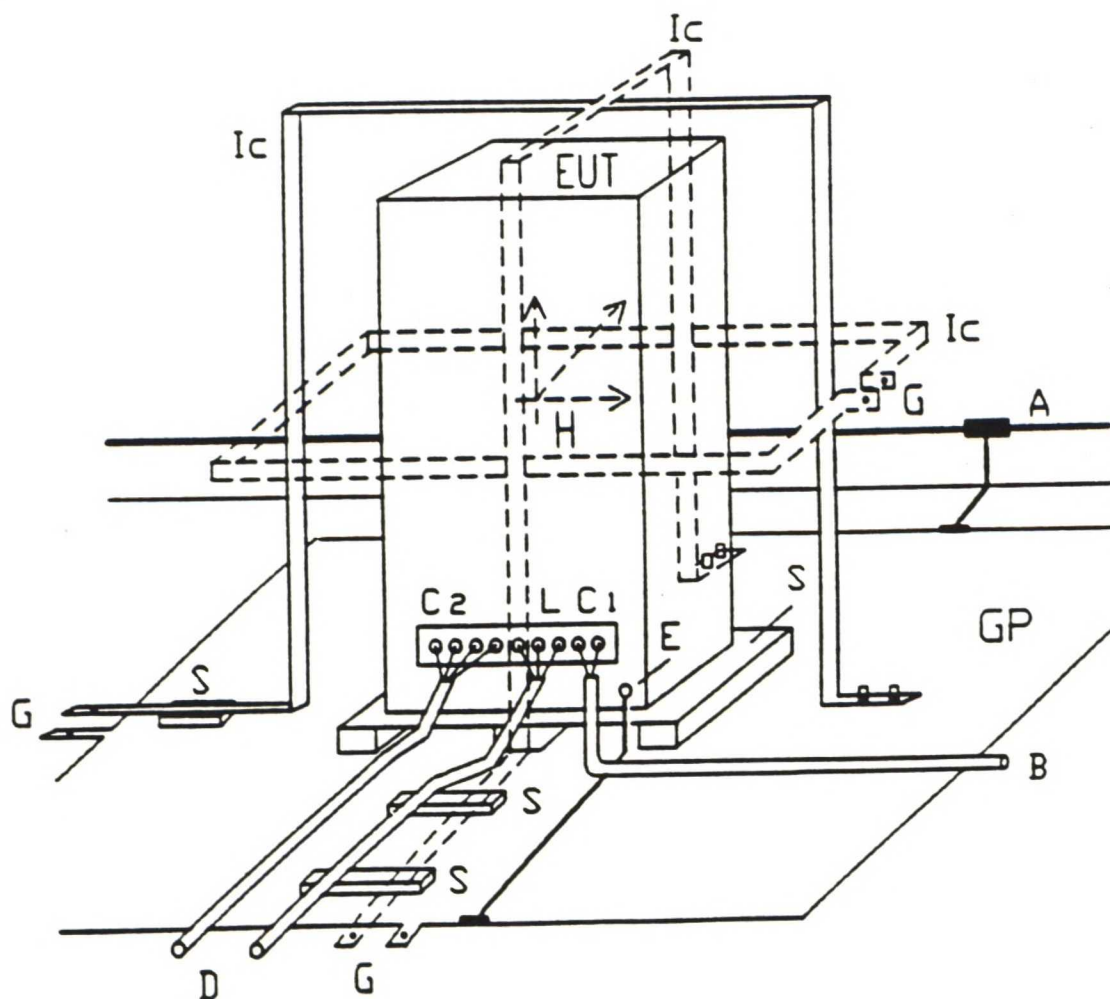
Testigeneraattori koostuu jännitteen säätäjästä, joka on kytketty jakeluverkkoon, virtamuuntajasta ja virtapiiristä, jolla ohjataan lyhytkestoista koetta. Testigeneraattorin on annettava jatkuvasti virtaa  $(1...100A)/N$  ja lyhytaikaisesti  $(300...1000A)/N$ , missä  $N$  = käämikerroin. Jännitteen säätäjällä voidaan säätää induktiokelassa kulkevaa virtaa. Testigeneraattorin rakenne on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16 Testigeneraattorin rakenne

Testauslaboratoriossa on oltava riittävän iso metallinen (kupari tai alumiini) maataso, joka on kytkettävä laboratorion suojamaadoitusjärjestelmään. Testattava laitteisto on sijoitettava 0,1 m eristealustan päälle ja laitteiston suojamaa on kytkettävä maatasoon.

Induktiokelan on oltava kuparia, alumiinia tai vastaavaa johtavaa epämagneettista materiaalia. Kela on tehtävä johtimesta, jonka säteispaksuuden on oltava suhteellisen pieni. Induktiokelojen on oltava testattavan laitteiston mittojen mukaisia, jotta saadaan aikaan kentän eri polarisaatiot. Kelan sivunpituuden on oltava  $5/3$  testattavan laitteiston sivunpituudesta. Testausjärjestely on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17 Verkkotaajuuden magneettikentän siedon testausjärjestely



Testigeneraattoriin liittyvä induktiokela generoi valitun testaustason mukaisen magneettikentän voimakkuuden. Testattava laitteisto altistetaan magneettikentälle 1-3 sekunniksi lyhytaikaisen magneettikentän voimakkuuden testissä ja pitemmäksi, testauspesifikaatiossa määrätyksi ajaksi pitkäaikaisen magneettikentän voimakkuuden testissä. Testi toistetaan siirtämällä keloja 50% lyhimmän kelan sivunpituuden verran testattavaan laitteistoon nähden.

3.8 Jännitteen vaihtelun sieto

Standardin SFS 2664 mukainen kolmivaihepienjännite on Suomessa 230/400 V. Lisäksi suositellaan, että jännite liittämiskohdassa ei eroa nimellisjännitteestä normaalien käyttöolosuhteiden aikana enempää kuin -10% tai +6%.

Pohjoismainen sähkönlaatukomitea on tullut siihen tulokseen, että jännitteen keskiarvo sekä jännitteen suurin vaihtelualue ovat sopivia jännitteen laadun kriteereitä. Komitea on laatinut taulukon 3 mukaisen jännitesuosituksen. Suositus koskee kuluttajan liittymiskohdassa tai sen lähellä mitattuja arvoja verkoissa, joiden nimellisjännite on 220 V. Mittauskausi on yksi viikko. Taulukon vaatimukset tulee voida täyttää minä vuoden viikkona tahansa.

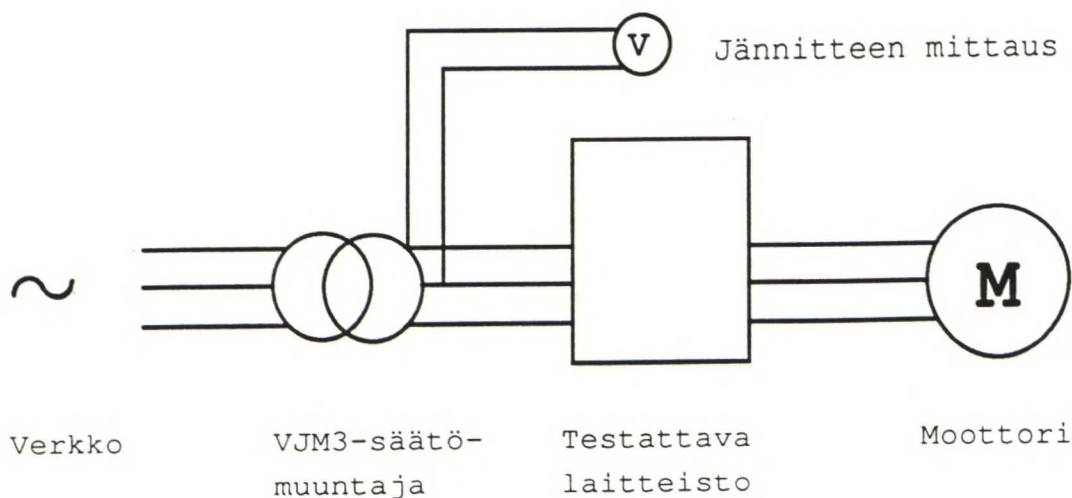
Taulukko 3 Pohjoismaisen sähkönlaatukomitean jännite-suositus

Laadun kriteerio		Jännitteen keskiarvo		Jännitteen vaihtelualue enintään V
		enintään V	vähintään V	
Hyväksyttävä	muuntamolla	230	-	25
	kuluttajan luona	-	220	35
Hyvä	muuntamolla	228	-	20
	kuluttajan luona	-	222	30

Kallasjoki on mitannut jännitteen keskiarvoa ja jännitteen suurinta vaihtelualuetta sähköasemilla, jakelumuuntajan ylä- ja alajännitepuolella sekä pienjännitekuluttajilla. Jännitteen vaihtelualueet olivat yhtä poikkeusta lukuunottamatta Pohjoismaisen sähkönlaatukomitean suositusten rajoissa. [Kallasjoki, 1982]

Standardiluonnoksen EN 50 082-2 jännitteen vaihtelun testissä laitteisto asetetaan alttiiksi  $\pm 10\%$ :n jännitteen vaihtelulle. Testin kesto on 15 minuuttia ja laitteiston tulee toimia moitteettomasti testin aikana.

Testattava laite kytketään toiminnan vaatimalla tavalla. Laite maadoitetaan normaalien asennusohjeiden mukaisesti testauspaikan maadoituskiskoon. Testattava laite kytketään verkkoon säätömuuntajan kautta. Säätömuuntajalla voidaan tällöin säätää laitteeseen syötettävää jännitettä. Testausjärjestely on kuvan 18 mukainen.



Kuva 18 Jännitteen vaihtelun testausjärjestely

Testaus suoritetaan, kun taajuusmuuttujaa kuormitetaan tyhjäkäyvällä moottorilla. Laite käynnistetään normaalilla käyttöjännitteellä. Kun laite on käynnissä, jännite nostetaan/alennetaan koejännitteen tasolle. Laitetta käytetään 15 minuuttia koejännitteellä, jonka jälkeen jännite palautetaan normaaliksi. Jännitetestin aikana laitteen

toiminnassa tai suorituskyvyssä ei sallita käyttäjälle näkyvää puutetta. Testi toistetaan taajuusmuuttajan eri käyttötaajuuksilla.

SAMI Flowstar 100 kVA -taajuusmuuttajalle tehtiin tyyppikoe -15/+10 %:n jännitteen vaihtelulla. Taajuusmuuttaja läpäisi testin ja toimi normaalisti testin aikana. Testistä laadittiin tyyppikoeohjeet sekä kirjattiin testauspöytäkirjat.



## **4. HÄIRIÖNPÄÄSTÖ**

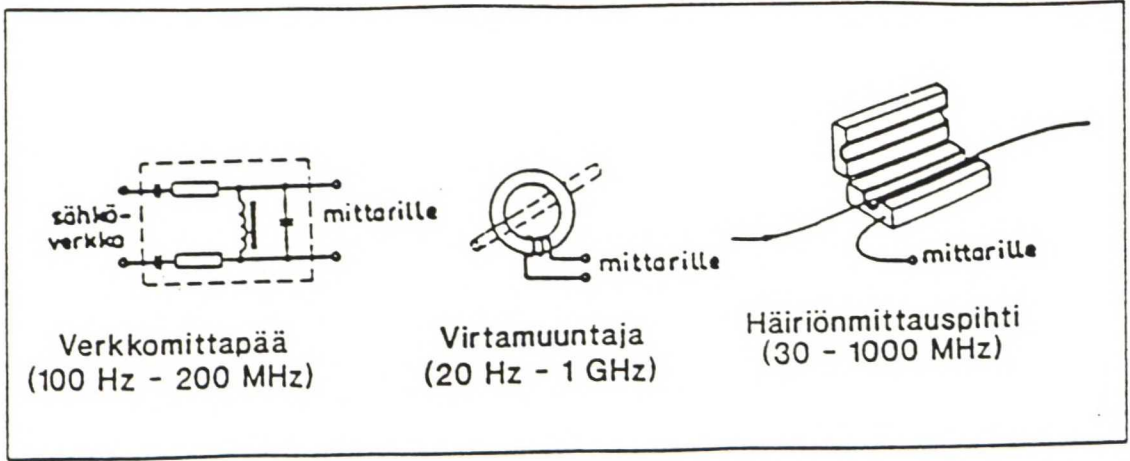
Sähkölaitteiden häiriönpäästöt jaetaan laitteen tuottamiin johtuviin häiriöihin ja laitteesta säteileviin häiriöihin. Johtuvilla häiriöillä käsitetään laitteistosta sähköverkkoon etenevät häiriöt, jotka häiritsevät samaan sähköverkkoon kytkettyjä laitteita. Säteilevillä häiriöillä käsitetään laitteistosta säteilevät ilmassa etenevät häiriöt, jotka häiritsevät laitteen läheisyydessä olevia laitteita.

### **4.1 Johtumalla etenevät häiriöt**

Johtuvat häiriöt etenevät häiriölähteenä toimivasta laitteesta sähköverkkoon tehonsyöttökaapeleita pitkin. Häiriöiden etenemistä voi pyrkiä estämään häiriönsuotokondensattorien, kuristimien ja suodattimien avulla. Johtuvat häiriöt voivat myös kytkeytyä maatasen tai suojamaan kautta. Häiriöiden kapasitiivinen kytkeytyminen laitteen häiriöitä aiheuttavista komponenteista runkoon ja tehonsyöttöjohtimiin lisää johtuvia häiriöitä. Johtuvia häiriöitä voidaankin pyrkiä torjumaan laitteen hajakapasitansseja pienentämällä.

#### **4.1.1 Johtuvien häiriöiden mittaus**

Johtumalla etenevät häiriöt mitataan häiriöjännitteinä 50 ohmin mittavastuksen yli. Mittausolosuhteiden vakioimiseksi käytetään kytkentäverkkoa, joka estää sähkönjakeluverkossa esiintyvien häiriöiden pääsyn mittalaitteeseen sekä normalisoi testattavan laitteen näkemän verkkoimpedanssin. Häiriöjännite voidaan mitata myös verkkomittapään avulla. Johtumalla etenevät häiriöt voidaan mitata myös johtimessa kulkevana häiriövirtana. Tällöin käytetään joko virtamuuntajia tai häiriönmittauspihtejä. Kuvassa 19 on esitetty johtuvien häiriöiden mittauksissa käytettäviä välineitä.



Kuva 19 Johtuvien häiriöiden mittauksissa käytettäviä välineitä

Häiriötason mittaamiseen käytetään yleensä mittavastaanotinta tai spektrianalysaattoria. Mittavastaanottimen etuina spektrianalysaattoriin verrattuna ovat hyvät suurtaajuusominaisuudet ja mittaustarkkuus, mutta sen heikkoutena ovat suhteellisen hidas mittaussnopeus ja spektrinäytön puuttuminen. Spektrianalysaattorin etuina ovat nopea mitaustoiminta huippuarvomittauksessa laajalla taajuuskaistalla ja havainnollinen näyttö, heikkoutena rajoitettu dynamiikka-alue ja huonompi mittaustarkkuus. [Reinikainen 1988, s. 16]

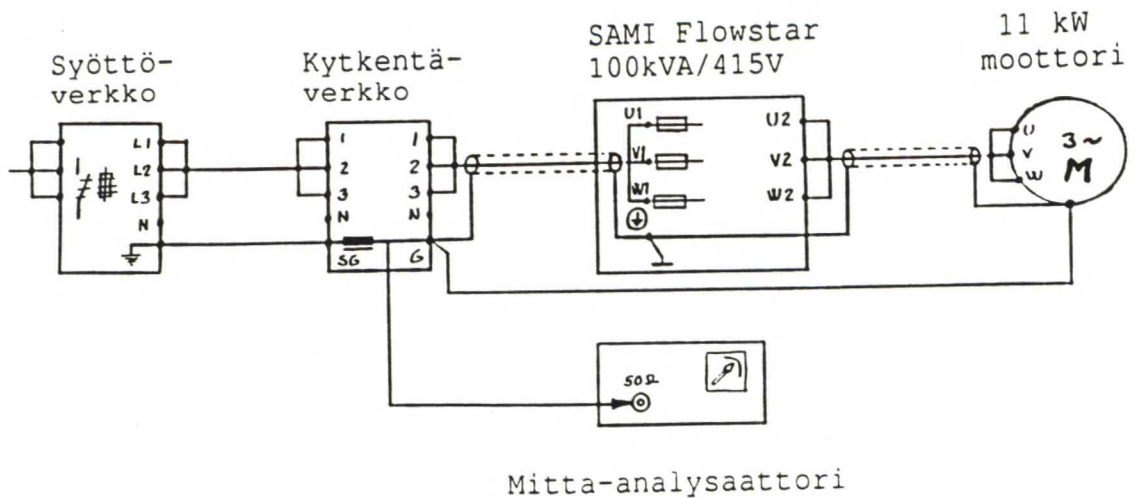
Tässä työssä johtuvien häiriöiden mittaukset on tehty sekä radiohäiriöiltä suojatussa huoneessa että tehtaan testaus-tilassa. Radiohäiriöiltä suojatussa huoneessa on tutkittu pääasiassa häiriönsuotokondensaattorien ja niiden eri kytkentöjen vaikutusta häiriötasoon. Tehtaan testaus-tilassa tutkittiin todenmukaisessa kuormitustilanteessa toimivan taajuusmuuttajan eri häiriötasoja. Työssä on käytetty CISPR 16 -standardin mukaista Rohde&Schwarz ESH 3 -mittavastaanotinta. Mitattu taajuusalue on 150 kHz - 30 MHz ja mittavastaanottimen käyttämä kaistanleveys on 9 kHz. Kytkentäverkkona on käytetty CISPR 16 -standardin, kaistan A mukaista NNLK 8121 -verkkoa, jota voidaan käyttää myös mitatulla taajuusalueella. Kytkentäverkon virrankesto on 3 \* 100 A.

CENELECin EN 55022 -standardi määrittelee A-luokan (ammattikäyttöön tarkoitettulle) laitteelle sallitun häiriötason taulukon 4 mukaisesti:

Taulukko 4 Sallittu häiriötaso, EN 55022 luokka A

Taajuusalue (MHz)	Raja-arvot [dB ( $\mu$ V)]	
	Näennäishuippuarvo	Keskiarvo
0,15 - 0,50	79	66
0,50 - 30	73	60

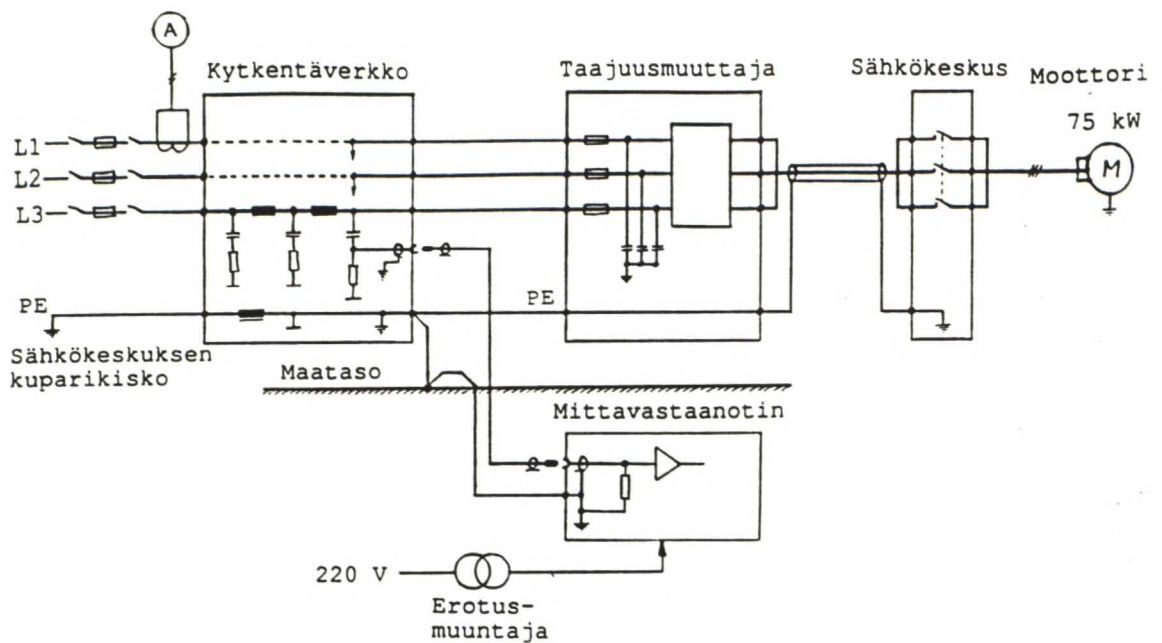
Radiohäiriöiltä suojattu huone on Belling&Lee:n valmistama erikoisrakenteinen huone, joka suodattaa sisään tulevat radiotaajuiset signaalit. Huoneeseen on tuotu 3 \* 63 amperin syöttöverkko, jossa on 50 A:n sulakkeet. Radiohäiriöiltä suojatussa huoneessa on 11 kW:n moottori, jota voidaan käyttää ainoastaan tyhjäkäynnillä. Mittauskytkentä on kuvan 20 mukainen.



Kuva 20 Mittauskytkentä radiohäiriöhuoneessa



Radiohäiriöhuoneessa mitattavaa Flowstar-taajuusmuuttajaa ei pystytty kuormittamaan ja tästä syystä tehtaan testaus-tilaan järjestettiin mittausjärjestely, jossa voitiin tarkastella johtuvia häiriöitä taajuusmuuttajan ollessa kuormitettuna. Mittauksessa käytettiin 20 metriä pitkää moottorikaapelia ( $3 \times 70 \text{ mm}^2 \text{ Al} + 35 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ ). Moottorina oli 75 kW:n oikosulkumoottori, jota voitiin kuormittaa 150 kW säädettävän tasasähkökoneen avulla. Mittauskytkentä on kuvan 21 mukainen.



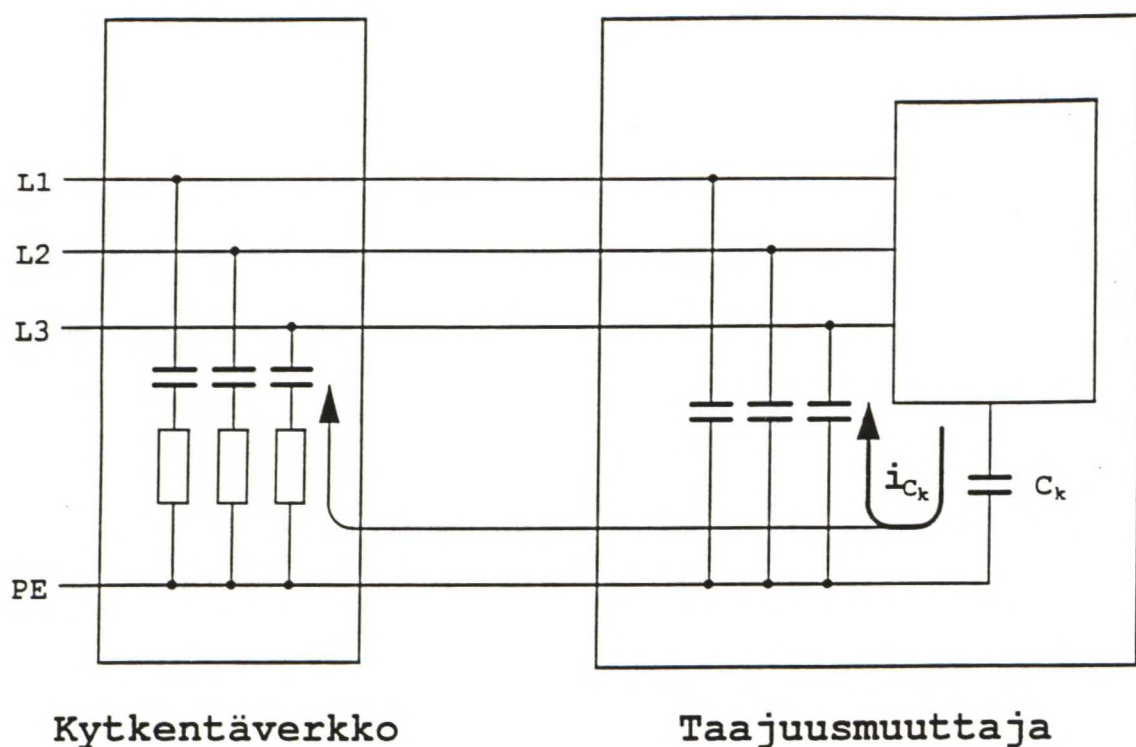
Kuva 21 Mittauskytkentä tehtaan testauksessa

#### 4.1.2 Johtuvien häiriöiden vaimennus

Suuritaajuiset häiriöt on pyrittävä eliminoimaan siellä, missä ne syntyvät. On usein huomattavasti hankalampaa suodattaa häiriöitä laitteiston verkkoliitännässä kuin eliminoida ne jo siellä, missä ne syntyvät, esim. piirilevyllä. Jännitetasojen pienentäminen madaltaa häiriötasoa, mutta se myös pienentää muunnettavaa tehoa. Jännitteiden nousuaikojen kasvattaminen vähentää häiriöitä, mutta se myös lisää häviöitä ja vähentää hyötysuhdetta. Kytkentätaajuuden aleneminen madaltaa häiriötasoa, mutta se myös huonontaa suorituskäytettä.

Syntyvän häiriöjännitteen pienentäminen syntysijoillaan ei aina ole mahdollista, ja on myös hyväksyttävä se tosiasia, että tulevaisuudessa tullaan generoimaan yhä suurempia häiriöjännitteitä laitteiston suorituskyvyn parantuessa. Tämä asettaa entistä suurempia vaatimuksia häiriöiden vaimennukselle.

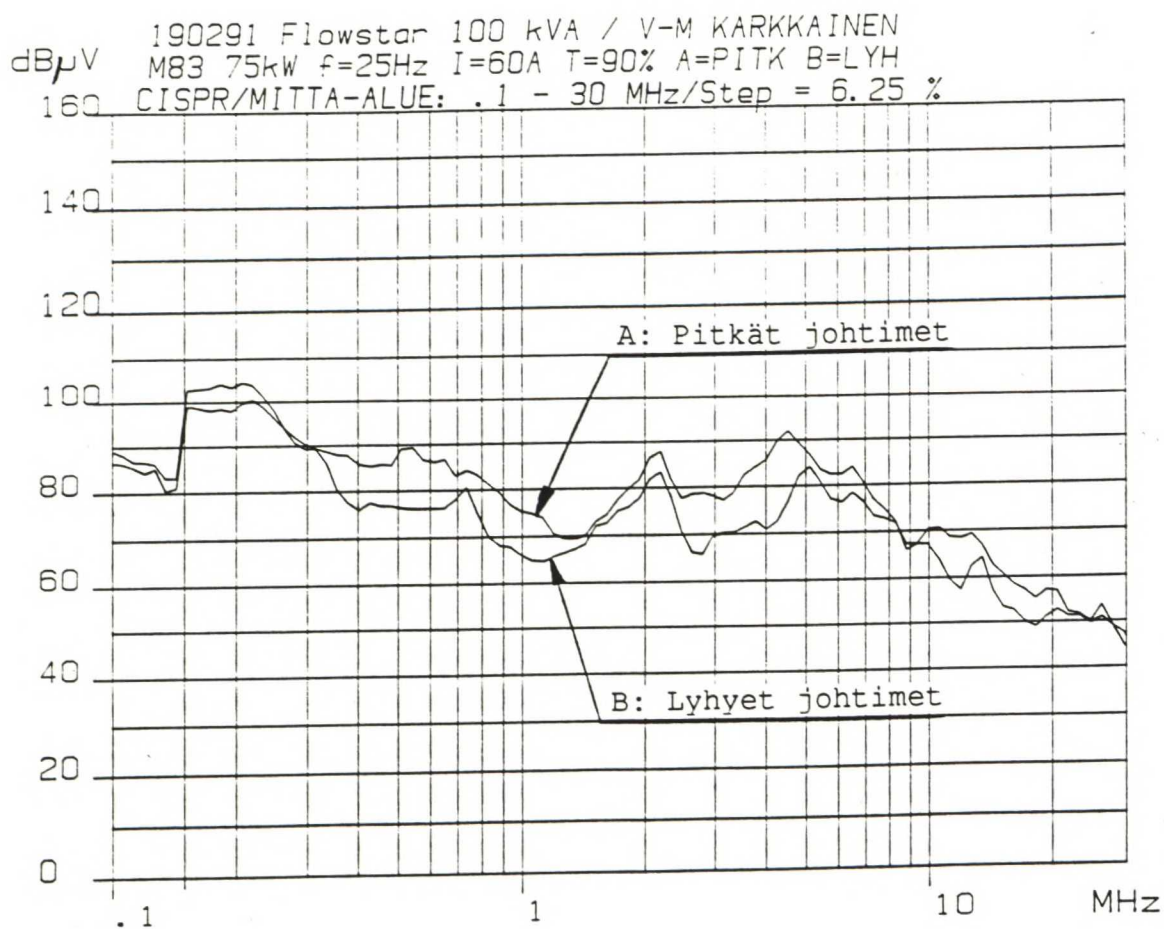
Laitteiston aiheuttamia häiriöitä voidaan vaimentaa taajuusmuuttajan tehonsyöttöön kytkettävien häiriönsuotokondensaattorien avulla. Kondensaattorit muodostavat häiriövirroille sulkeutumistien ja näin vaimentavat laitteistosta johtuvia häiriöitä. Kondensaattorien ansiosta kytkentäverkosta mitattava häiriöjännite on pienempi. Kondensaattorien sijoitus on esitetty kuvassa 22.



Kuva 22 Häiriönsuotokondensaattorien sijoitus

Mittauksissa käytettiin Nokian valmistamia  $0,47\mu\text{F}$ ,  $1,5\mu\text{F}$ ,  $2,2\mu\text{F}$ ,  $3,6\mu\text{F}$  ja  $10\mu\text{F}$  metallipaperikondensaattoreita. Mittaukset suoritettiin sekä radiohäiriöhuoneessa että tehtaан koetiloissa. Mittauksissa käytettiin myös kuormitusta ja häiriötasot mitattiin useilla eri taajuuksilla.

Nykyisessä laitteiston kokoonpanossa käytetään Nokian valmistamia  $0,47\mu\text{F}$  kondensaattoreita, jotka on sijoitettu vieretysten laitteen runkoon ja kytketty vaiheisiin pitkillä johtimilla. Kondensaattorit on kytketty tähteen ja tähtipiste on kytketty laitteiston runkoon erillisellä johtimella. Kun samat  $0,47\mu\text{F}$  kondensaattorit kytketään lyhyillä johtimilla vaiheen ja laitteiston rungon välille, saadaan parempi häiriösuodatus. Taajuusalueella 150...250 kHz häiriötaso on muutaman desibelin korkeampi, mutta muilla taajuuksilla saadaan jopa 10 dB alhaisempi häiriötaso. Mittaustulos on esitetty kuvassa 23.

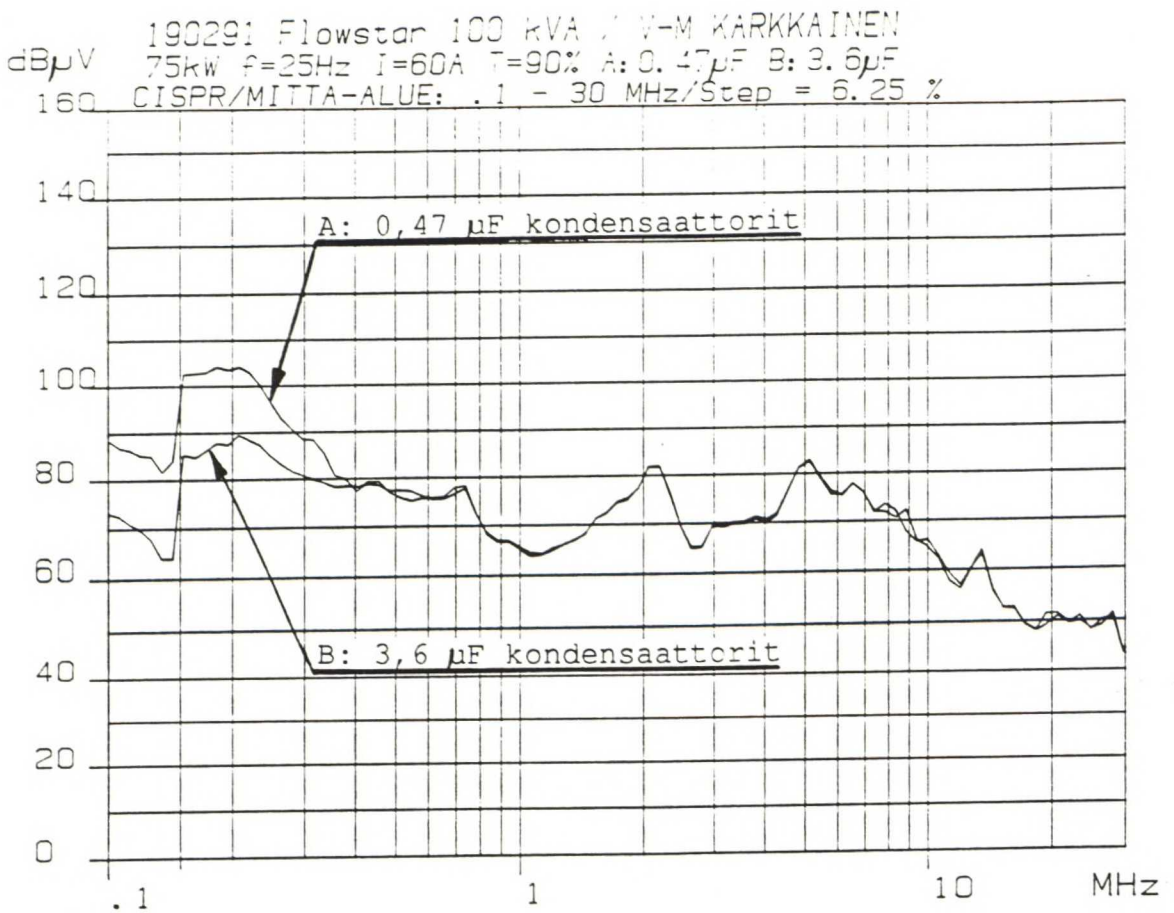


Kuva 23 Kondensaattorien kytkennän vaikutus häiriötasoon

Kun käytetään lyhyempiä johtimia ja yksinkertaisempaa kytkentää, lyhennetään laitteiston häiriövirtojen kulureittejä. Myös antenneinea toimiviin johtimiin kapasitiivisesti kytkeytyvät häiriövirrat pienenevät. Mittaukset tehtiin myös paksummilla kondensaattorien johtimilla, mutta tällä ei ollut vaikutusta häiriötasoon.



Mittauksissa vertailtiin myös kapasitassiarvoltaan eri kokoisia häiriönsuotokondensaattoreita. Kondensaattorin koko vaikutti taajuusalueen alkupäässä alueella 150...300 kHz. Parhaiten häiriöitä vaimensivat 3,6  $\mu\text{F}$ :n kondensaattorit. Kondensaattorien koon vaikutus häiriötasoon on esitetty kuvassa 24.

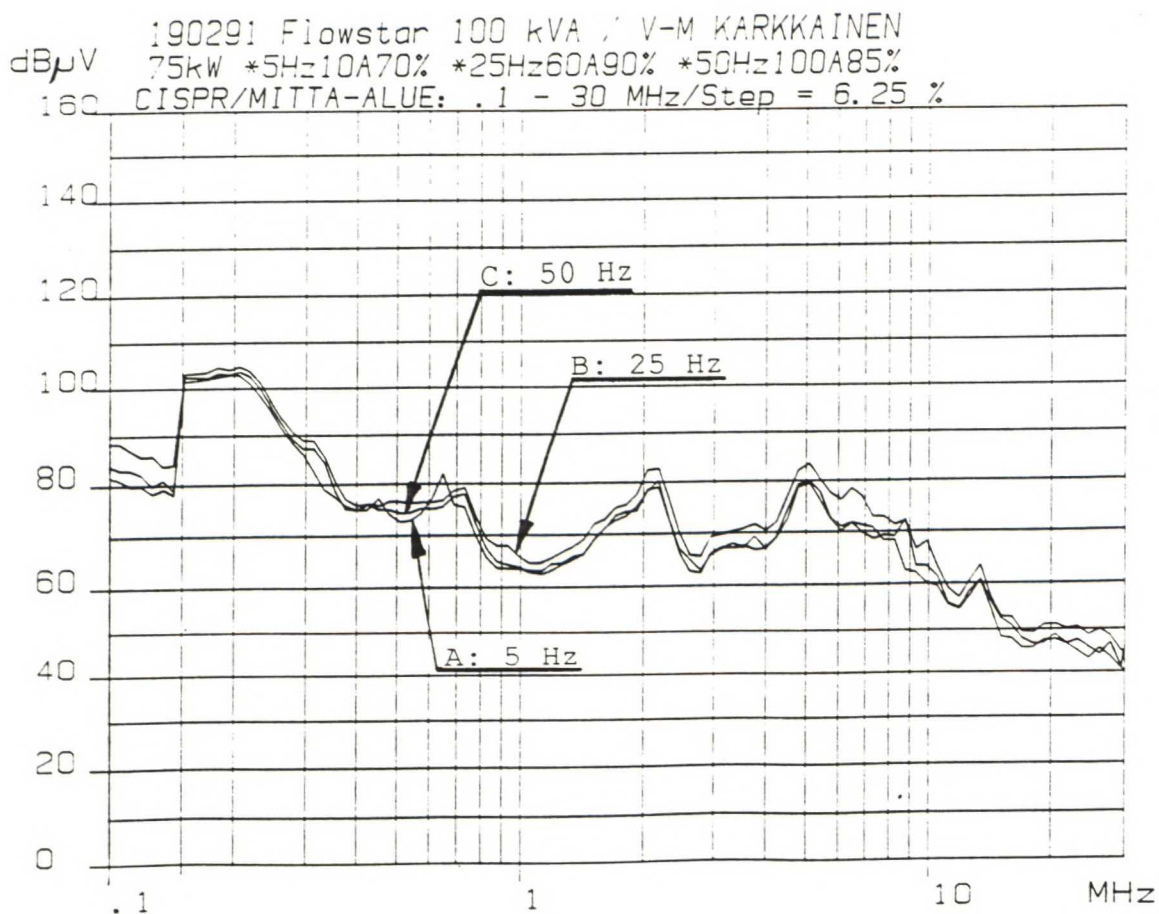


Kuva 24 Kondensaattorien koon vaikutus häiriötasoon

Kokeiltiin myös rakenteeltaan erilaisten 4  $\mu\text{F}$ :n "clamping"-kondensaattorien vaikutusta häiriötasoon. Tällaisissa lie-riön muotoisissa kondensaattoreissa navat ovat lie-riön molemmissa päissä. Kondensaattoreiden kytkemiseen ei tarvita erillisiä johtimia, vaan ne voidaan asentaa pulteilla suoraan vaihekiskon ja rungon väliin. 4  $\mu\text{F}$ :n clamping-kondensaattori suodatti häiriöitä yhtä paljon kuin tavallinen 3,6  $\mu\text{F}$ :n metallipaperikondensaattori. Kun kokeiltiin keraamisia 0,1  $\mu\text{F}$ :n kondensaattoreita tavallisten 0,47  $\mu\text{F}$ :n kondensaattoreiden rinnalla, ei voitu havaita muutosta häiriötasossa.

Seuraavaksi kokeiltiin vaiheiden välille kytkettyjen häiriösuotokondensaattorien vaikutusta häiriötasoon. Vaiheiden välille kytkettiin 3,6  $\mu\text{F}$ :n kondensaattorit ja vaiheista runkoon kytkettiin 1,5  $\mu\text{F}$ :n kondensaattorit. Toisessa mittauksessa nykyisen kokoonpanon (0,47  $\mu\text{F}$ :n kondensaattorit tähteen kytkettyinä) lisäksi tähtipisteen ja maan välille kytkettiin 2,2  $\mu\text{F}$ :n kondensaattori. Kytkennöillä ei ollut merkittävää vaikutusta häiriötasoon.

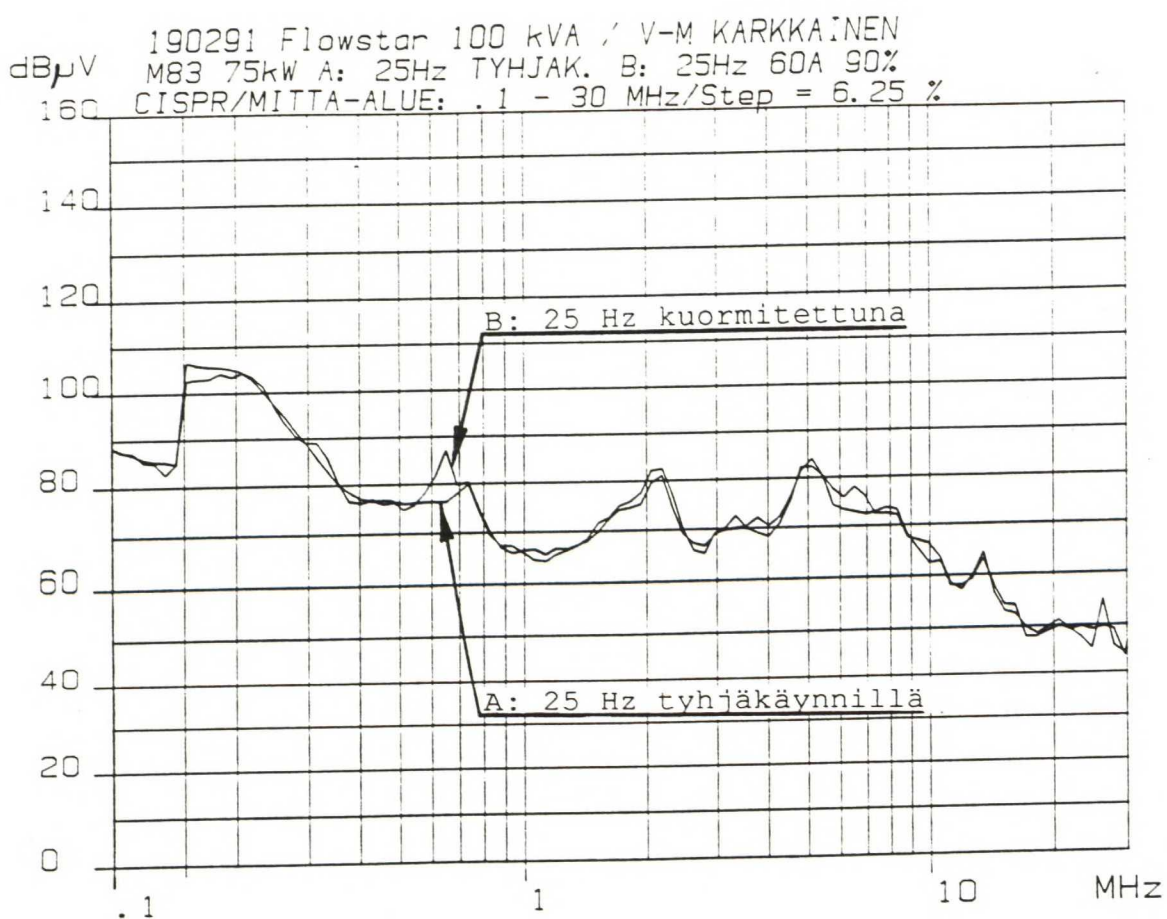
Taajuusmuuttaja tasasuuntaa 3-vaiheverkon jännitteen välipiirin kahdelle tasavirtakiskolle, joista toinen on miinuspotentiaalissa ja toinen pluspotentiaalissa. Tästä tasajännitteestä taajuusmuuttaja muodostaa 3-vaiheisen jännitteen moottorille kytkemällä kunkin vaihejohtimen vuorotellen välipiirin plus- tai miinuskiskoon tähtikolmiomoduloinnin periaatteen mukaan. Kytkentätaajuus vaihtelee taajuusmuuttujan lähtötaajuuden mukaan. Taajuusmuuttajan lähtötaajuuden vaikutus häiriötasoon on esitetty kuvassa 25.



Kuva 25 Lähtötaajuuden vaikutus häiriötasoon

Kuvassa ylin käyrä on mitattu 25 Hz:n lähtötaajuudella ja kaksi alinta käyrää 5 Hz:n ja 50 Hz:n lähtötaajuuksilla. Koska 25 Hz:n lähtötaajuudella häiriötaso oli korkein, pääosa mittauksista on tehty 25 Hz:n taajuudella.

Mittauksissa oikosulkumoottorin kuormitus säädetään 90 %:iin, jolloin taajuusmuuttaja ottaa verkosta virtaa 3\*60 ampeeria. Kuormituksen vaikutus häiriötasoon on kuitenkin erittäin vähäinen. Kuvassa 26 on verrattu tyhjäkäyntitilannetta kuormitustilanteeseen.



Kuva 26 Kuormituksen vaikutus häiriötasoon

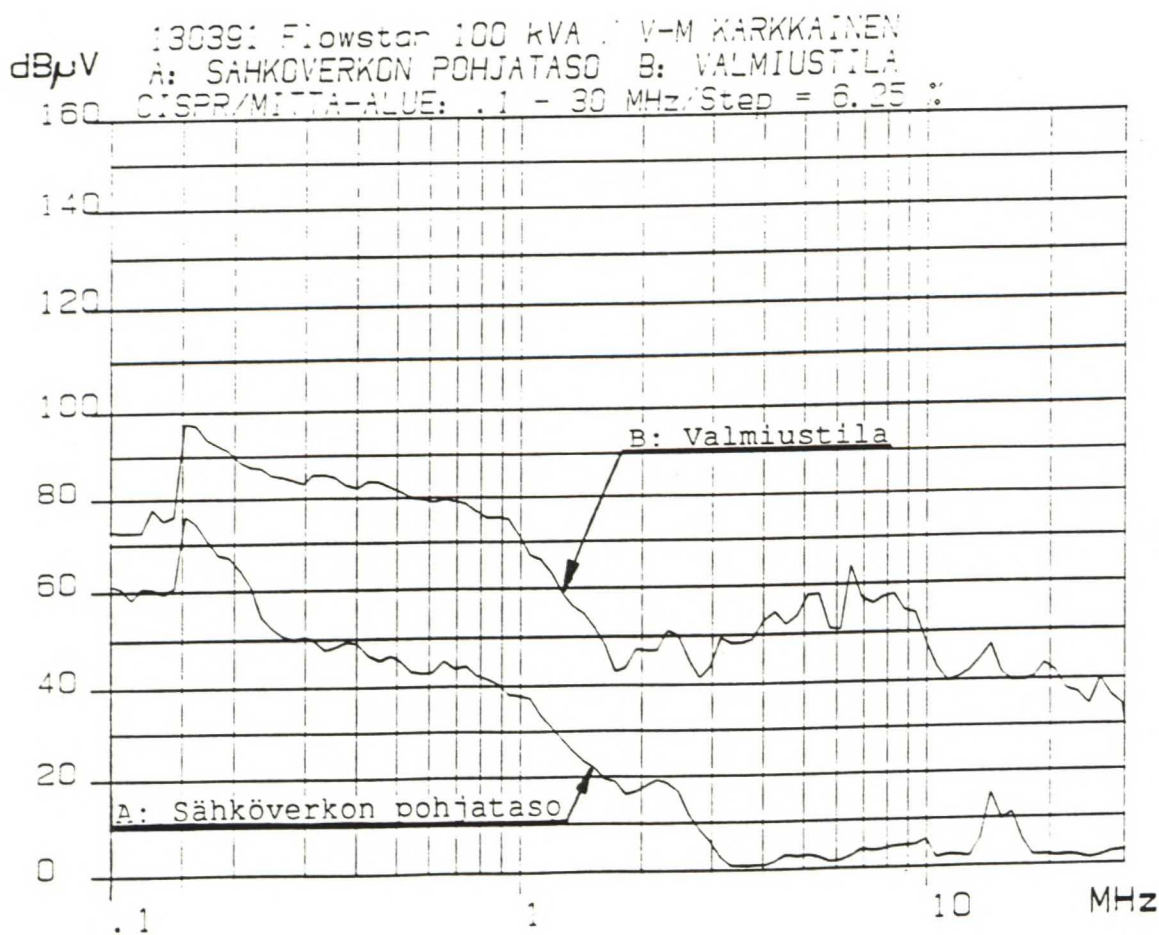
Taajuusmuuttajassa on ohjauspiirien tehonsyöttöä varten hakkuritehonlähde, jonka kytkentätaajuus on 80 kHz. Voidaan olettaa, että osa häiriöistä on peräisin hakkuritehonlähteestä. Kun hakkuritehonlähteen syöttöjännite otettiin ulkoisesta tehonlähteestä, häiriötaso pysyi ennallaan.



Häiriökondensaattorit kytkettiin myös tasavirtakiskojen ja rungon välille. Tällä toimenpiteellä häiriötaso aleni 10-15 dB taajuusalueella 150-300 kHz, mutta taajuusalueella 300 kHz - 2,5 MHz häiriötaso oli jopa 10-25 dB korkeammalla.

Taajuusmuuttajassa on 6-pulssitasasuuntaaja, jossa on kolme diodi-tyristorimodulia. Seuraavissa mittauksessa kytkettiin ensin 10 nF:n ja sitten 100 nF:n kondensaattorit diodien ja tyristorien ylitse. Kytkenällä ei kuitenkaan ollut vaikutusta häiriötasoon. Seuraavaksi diodi-tyristorimodulit vaihdettiin vastaaviin diodi-diodimoduleihin, mutta tämä vain nosti häiriötasoa.

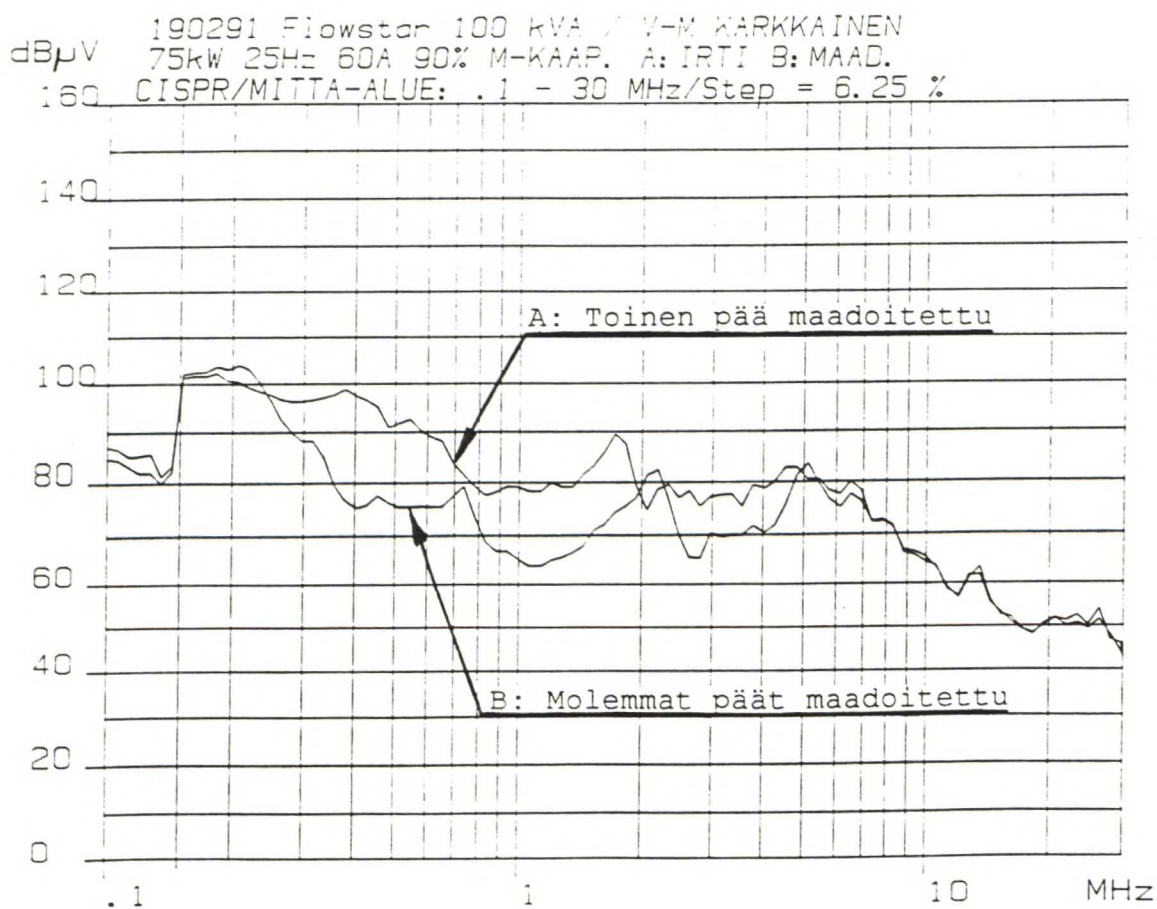
Tehtaan testaustilassa suoritetuissa mittauksissa on varsin korkea sähköverkon pohjataso, joka on esitetty kuvassa 27. Kuvassa on esitetty myös laitteen häiriötaso valmiustilassa.



Kuva 27 Sähköverkon pohjataso ja häiriötaso valmiustilassa

Kuvassa on esitetty sähköverkon pohjataso, jota mitattaessa taajuusmuuttaja ei ollut kytkettynä kytkentäverkkoon. Kuvassa on myös esitetty taajuusmuuttajan häiriötaso valmiustilassa, kun taajuusmuuttajaan on kytketty virta päälle, mutta moottoria ei pyöritetä. Kuvasta voidaan huomata, että häiriötaso on varsin korkea ja sallittu häiriötaso ylitetään taajuusalueella 150 kHz - 1 MHz.

Osa laitteiston häiriöistä on peräisin 20 metriä pitkästä moottorikaapelista. Kaapeli aikaansaa myös pitkän kierto-reitin moottorista tuleville häiriövirroille. Kuvassa 28 on esitetty kaksi erilaista moottorikaapelin maadoitusta. Ensimmäisessä mittauksessa moottorikaapeli on maadoitettu ainoastaan taajuusmuuttajan puoleisesta päästä ja toisessa mittauksessa kaapeli on maadoitettu molemmista päistään.

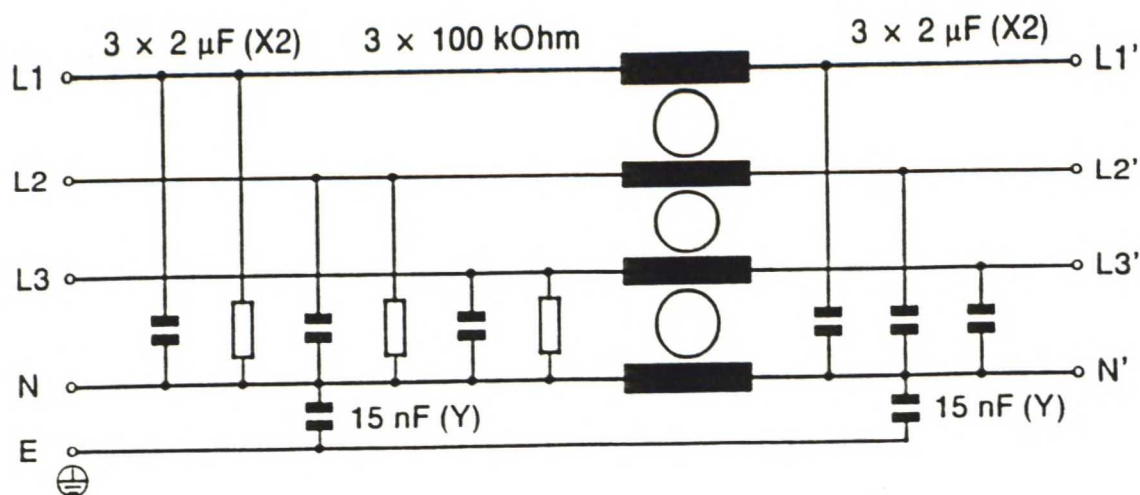


Kuva 28 Moottorikaapelin maadoituksen vaikutus häiriötasoon

Yhteismuotoiset häiriöt kytkeytyvät taajuusmuuttajan hajakapasitanssin kautta laitteen runkoon ja häiriövirrat pääsevät tätä kautta kiertämään sähköverkon ja taajuusmuuttajan välillä. Jos taajuusmuuttajan hajakapasitanssia pienennetään, estetään häiriövirtojen kiertämistä ja saadaan alhaisempi häiriötaso. Tämän periaatteen mukaan lisättiin taajuusmuuttajan ja rungon välisen kapasitanssia ja tutkittiin, nostaako tämä häiriötasoa. 1 nF:n kapasitanssi moottorilähdön ja rungon välillä ei vaikuttanut häiriötasoon. 10 nF:n kapasitanssi lisäsi hieman ja 47 nF:n kapasitanssi lisäsi selvästi häiriötasoa.

Laitteiston hajakapasitanssia yritettiin pienentää myös taajuusmuuttajan tasavirtakuristimen galvaanisella erotuksella. Tasavirtakuristin nostettiin noin 2,5 cm:n etäisyydelle laitteiston rungosta ja eristeenä käytettiin mäntylautaa. Erottamisella ei kuitenkaan ollut huomattavaa vaikutusta laitteiston häiriötasoon.

Häiriötasoa kokeiltiin pienentää myös radiohäiriösuodattimen avulla. Moottorilähtöön asennettu verkkosuodatin pienensi häiriötasoa jopa 25 dB taajuusalueella 150 - 400 kHz, mutta kasvatti häiriötasoa taajuusalueella 450 kHz - 2,5 MHz. Taajuusmuuttajan sisääntulossa tämä suodatin vaimensi häiriötasoa 5 - 15 dB taajuusalueella 150 - 500 kHz. Suodattimen kytkentäkaavio on esitetty kuvassa 29.



Kuva 29 Suodattimen (Schaffner FN 356-50-24) kytkentäkaavio



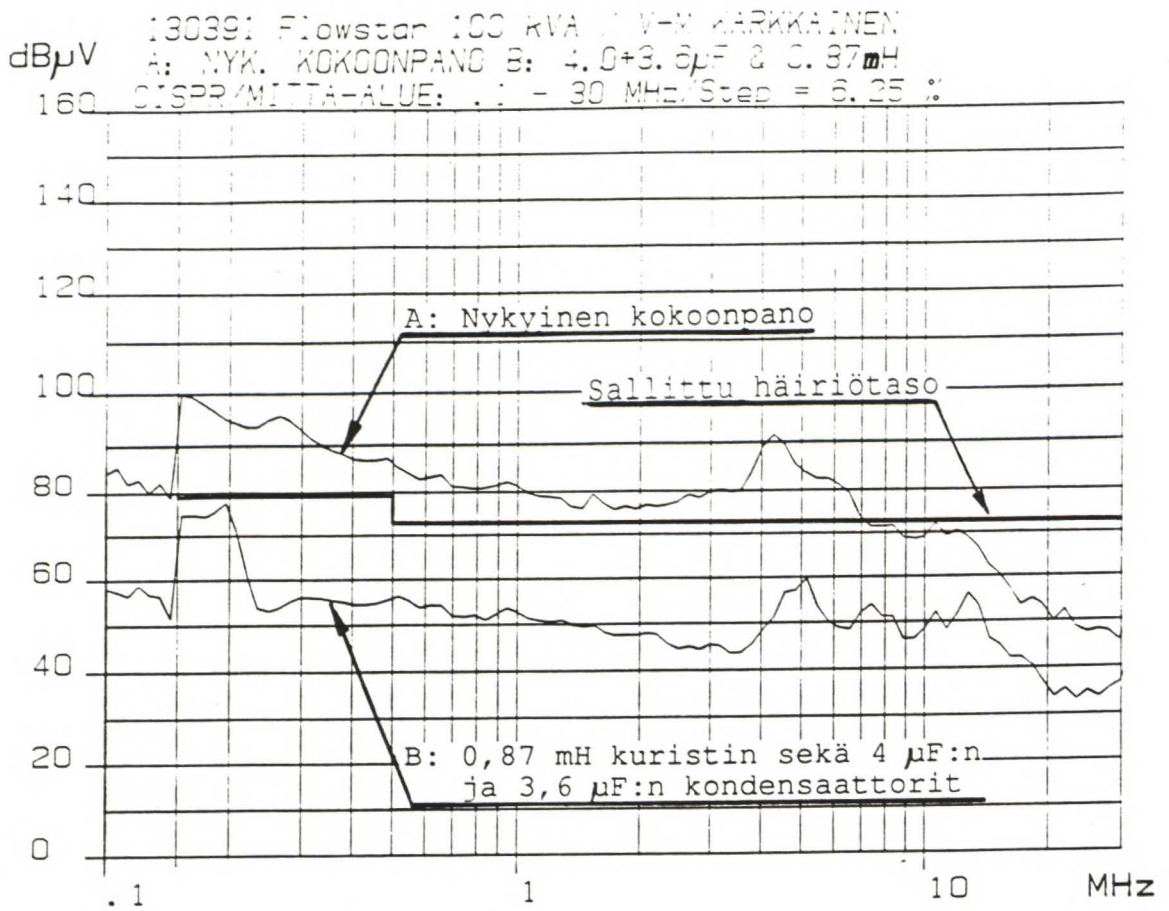
Taajuusmuuttajan aiheuttamia häiriöitä voidaan suodattaa myös kuristimien avulla. Kuristimet muodostavat virtajohtimen kanssa sarjaan induktanssin ja estävät näin häiriövirtojen kiertämistä. Taajuusmuuttajan suojamaahan kytketty Schaffnerin 350  $\mu\text{H}$ :n kuristin kuitenkin lisäsi häiriötasoa taajuusalueella 150 kHz - 1,5 MHz. Kun kuristimen kytkee moottorikaapelin vaipan ja taajuusmuuttajan rungon välille, häiriötaso kasvaa.

Kuristimien tulee olla yhteismuotoisia kuristimia, jotta häiriötaso saataisiin alhaisemmaksi. Radiohäiriökokeita varten suunniteltiin ja rakennettiin ferriittisydäminen yhteismuotoinen kuristin, jonka ympärille käärittiin litteästä kuparijohtimesta käämit kutakin vaihetta varten. Yhteismuotoisen kuristimen induktanssiksi mitattiin  $3 \times 0,87 \text{ mH}$ .

Kun yhteismuotoinen kuristin kytkettiin moottorilähtöön, häiriötasoa saatiin pudotetuksi 10 dB taajuusalueella 150 - 300 kHz. Virran syöttöön kytkettynä yhteismuotoinen kuristin vaimentaa noin 5 dB taajuusalueella 150 kHz - 1 MHz ja jopa 10 dB taajuusalueella 1 - 30 MHz. Kun kuristin kytkettiin virran syöttöön ja kuristimen jälkeen kytkettiin lisäksi  $3 \times 3,6 \mu\text{F}$ :n kondensaattorit, häiriötaso pieneni noin 20 dB taajuusalueella 150 - 500 kHz. Radiohäiriötaso oli juuri ja juuri alle CENELECin sallitun häiriötason.

Seuraavaksi virran syötössä olevan kuristimen jälkeen kytkettiin  $3 \times 0,5 \mu\text{F}$ :n ja  $3 \times 3,6 \mu\text{F}$ :n kondensaattorit. RIFA:n  $0,5 \mu\text{F}$ :n kondensaattorien vaikutuksesta häiriötaso kasvoi taajuusalueella 200 - 300 kHz ja pieneni taajuusalueella 500 kHz - 10 MHz.

Kun kuristin kytkettiin virran syöttöön ja lisäksi kuristimen jälkeen kytkettiin  $3 \times 4 \mu\text{F}$ :n ja  $3 \times 3,6 \mu\text{F}$ :n kondensaattorit, saatiin varsin hyvä tulos. Radiohäiriötaso oli selvästi alle CENELECin sallitun häiriötason. Mitattu häiriötaso on esitetty kuvassa 30. Vertailun vuoksi kuvaan on piirretty myös häiriötaso nykyisellä kokoonpanolla ja CENELECin sallittu häiriötaso.



Kuva 30 Yhteismuotoisen kuristimen ja kondensaattorien vaikutus häiriötasoon

Johtuvien häiriöiden vaimennus on erittäin vaativa ja monisäikeinen ongelma, etenkin uusissa ja suorituskykyisissä sähkölaitteistoissa. Valmistajien on suunniteltava laitteistonsa siten, että ne eivät häiritse toisia laitteistoja ja täyttävät asianmukaiset häiriönpäästövaatimukset. On löydettävä oikeat häiriöiden vaimennustavat sekä myös noudatettava oikeita kytkentätapoja. Käytettävät häiriönsuotokondensaattorit on kytkettävä lyhyillä johtimilla vaiheen ja maan välille. Suodattimet on maadoitettava hyvin ja niiden sisäänmenevät ja ulostulevat johdotukset on erotettava toisistaan.

#### 4.2 Säteilemällä etenevät häiriöt

Säteilevät häiriöt etenevät ilmassa sähkömagneettisina tasoaaltoina. Laitteen säteilemät sähkömagneettiset häiriöt mitataan yleensä kentänvoimakkuustasoina tai häiriötehona. Säteilevästä lähteestä mitataan sähkö- tai magneettikentän voimakkuus tai kaukokentässä sähkömagneettisen kentän voimakkuus. Taajuusalueella 10 - 150 kHz voidaan mitata magneettikentän voimakkuutta, taajuusalueella 150 kHz - 30 MHz sähkökentän tai magneettikentän voimakkuutta ja taajuusalueella 30 MHz - 1000 MHz sähkökentän voimakkuutta.

CENELECin EN 55022 -standardi määrittelee A-luokan (ammattikäyttöön tarkoitettulle) laitteelle sallitun häiriötason 30 metrin etäisyydeltä mitattuna taulukon 5 mukaisesti:

Taulukko 5 Sallittu häiriötaso (30 m), EN 55022 luokka A

Taajuusalue (MHz)	Näennäishuippuarvo [dB ( $\mu$ V/m)]
30 - 230	30
230 - 1000	37

Jos mittaus suoritetaan 10 metrin etäisyydeltä, raja-arvot ovat 10 dB korkeampia; jos taas mittaus suoritetaan 3 metrin etäisyydeltä, raja-arvot ovat 20 dB korkeampia.

Laitteen säteilemän häiriötason mittaamiseen käytetään CISPR:n mukaista mittavastaanotinta, jonka kaistanleveys on 120 kHz. Mittavastaanottimen mittausalueen tulee ulottua alueelle 30 - 1000 MHz. Uusimmat mittavastaanottimet täyttävät nämä vaatimukset.



Mittausantennina käytetään tasapainotettua dipoliantennia. Antenni on tasapainotettava siten, että kun sitä käännetään tasaisessa kentässä, häiriötason ristipolarisaation suunnassa on oltava ainakin 20 dB vähemmän kuin yhdensuuntaispolarisaation suunnassa. Antennin on oltava pituudeltaan resonoiva 80 MHz:n taajuudella ja tätä korkeammilla taajuuksilla. Alle 80 MHz:n taajuuksilla dipoliantennin on vastattava 80 MHz:n resonanssipituutta. Sähkömagneettisen tasoaallon aallonpituus saadaan kaavasta

$$\lambda = v / f, \quad \text{missä } v = \text{tasoaallon etenemisnopeus.}$$

Kun tasoaallon etenemisnopeus on lähellä valon nopeutta, niin lyhyimmäksi dipoliantennin pituudeksi taajuudella  $f = 80 \text{ MHz}$  saadaan aallonpituuden puolikas  $\lambda/2 = 1,8 \text{ m}$ .

Voidaan myös käyttää aallonpituuden puolikasta lyhyempää antennia, kun antennin kokonaispituus on suurempi kuin  $\lambda/10$  ja kun antenni täyttää CISPR 16:n asettamat ehdot lyhennetyille dipoliantennille.

Testauspaikan on oltava tasainen eikä lähistöllä saa olla heijastavia rakenteita eikä yläpuolella saa olla johtimia. Maatason on oltava metallia, ja sen on ulotuttava vähintään 1 m testattavan laitteiston reunojen yli toisessa päässä ja vähintään 1 m mittausantennin reunojen yli toisessa päässä. Maatason suositeltava enimmäispaksuus on  $0,1 \lambda$ , joka 1000 MHz:n mittaustaajuudella on noin 30 mm.

Radiotaajuisen säteilyn pohjataso ei tulisi ylittää sallittua häiriötasoa. Jos häiriökentän voimakkuuden pohjataso on liian voimakas määrätyllä mittausetäisyydellä, voidaan käyttää lyhyempää mittausetäisyyttä. Lyhyempää mittausetäisyyttä  $d_2$  vastaava sallittu häiriötason raja-arvo  $L_2$  määritellään kaavasta:

$$L_2 = L_1 (d_1 / d_2),$$

jossa  $L_1$  on määritelty sallittu häiriötaso [ $\mu\text{V/m}$ ] mittausetäisyydellä  $d_1$ .

Koska 300 MHz - 1000 MHz:n taajuusalueella tavallisen dipoli-antennin herkkyys on varsin alhainen, voidaan käyttää kehittyneempiä antennia, kuten laajakaistaista antennia. Antennin on oltava tasopolarisoitu samalla tavoin kuin tavallisen dipoli-antennin. Suoran säteilyn ja maasta heijastuneen epäsuoran säteilyn ei tule poiketa toisistaan kuin korkeintaan 1 dB. Antennin mittapiirin seisovan aallon suhteen on oltava alle 2,0. Sinimuotoisen kentän mittavirhe ei saa olla suurempi kuin  $\pm 3$  dB.

Jos halutaan tarkkaan tutkia laitteiston säteilemiä häiriöitä, häiriötasot on mitattava usealta eri etäisyydeltä testattavasta laitteistosta. Suositeltavia mittausetäisyyksiä ovat 3 m, 10 m, 30 m, 100 m, jne. Mittauspaikan läheisyydessä ei saa olla heijastavia esineitä kovinkaan laajalla alueella. Ennen kytkentäverkkoa olevat tehonsyöttökaapelit eivät saa häiritä mittausta.

Kun mitataan kevyitä laitteistoja, on laitteistoa pyöritettävä akselinsa ympäri, jotta korkein häiriötaso voidaan määrittää. Raskaita laitteistoja mitattaessa mittausteistojen on siirrettävä laitteiston ympärillä. Korkein mitattu arvo ilmoittaa säteilevien häiriöiden tason.

Käytössä olevan mittavastaanottimen suurin mittaustaajuus on 30 MHz, joten sitä ei voitu käyttää mittauksiin. Sen sijaan tehtiin suuntaa antavia laitteiston läheisyydessä olevan magneettikentän voimakkuuden mittauksia. Mittauksissa käytettiin itsevalmistettua mittakelaa, jolla mitattiin magneettikentän voimakkuus 50 mm:n etäisyydellä laitteiston rungosta. Laitteiston säteilemä magneettikenttä indusoi mittakelaan virran, jonka suuruus voidaan mitata jännitteinä spektrianalysaattorin 50 ohmin mittavastuksen yli. Magneettikentän voimakkuuden avulla voidaan laskea sähkökentän voimakkuus, kun tiedetään väliaineen ominaisimpedanssi eli väliaineessa etenevän taso-aallon sähkö- ja magneettikentän suhde. Mittakelan mitta-alue oli 30 Hz - 200 kHz, joten mittaukset antoivat suuntaa säteilevistä häiriöistä vain pienillä taajuuksilla.

## 5. YHTEENVETO

Diplomityössä on tarkasteltu sähkömagneettista yhteensopivuutta ja siihen liittyviä käsitteitä. On myös selvitetty mitä vaatimuksia Euroopan yhteisön uusi EMC-direktiivi asettaa taajuusmuuttajille sekä tutkittu taajuusmuuttajan häiriönsietoa ja häiriönpäästöä.

Työn alkuosassa on määritelty, mitä sähkömagneettinen yhteensopivuus pitää sisällään, ja lisäksi on tarkasteltu häiriölähteitä, niiden etenemistä ja kytkeytymistä sekä häiriintymistä. Todettiin, että häiriöitä voivat aiheuttaa luonnonilmiöt, ihmisten tekemät laitteet ja kojeet sekä esim. ydinräjähdykset. Häiriöt voivat edetä johtumalla tai säteilemällä ja kytkeytyä laitteeseen johtumalla, kapasitiivisesti, induktiivisesti tai sähkömagneettisena kenttänä. Määriteltiin myös häiriövaikutusten asteet ja toimintahäiriöiden seurausten vakavuudet.

Työssä on käsitelty sähkömagneettisen yhteensopivuuden standardisoimisjärjestöjä ja standardeja sekä alueeseen liittyviä suosituksia ja määräyksiä. On myös selvitetty EMC-direktiivin taustaa ja sen voimaantuloa sekä direktiivin pohjana olevat standardit.

Työn seuraavassa osassa on tutkittu taajuusmuuttajan häiriönsietoa. Työssä on tutkittu jokaisen EMC-direktiivin piiriin kuuluvan häiriönsietotestin taustaa ja testin toteuttamista. Osa häiriönsietotesteistä on tehty SAMI Flowstar 100 kVA -taajuusmuuttajalle. Tehdyistä testeistä on kirjoitettu tyyppikoeohjeet sekä testauspöytäkirjat.

Staattisen purkauksen siedon testissä simuloitiin suoraan testattavaan laitteeseen tai laitteen lähellä tapahtuvaa staattista purkausta testausgeneraattorin avulla. Testattu taajuusmuuttaja läpäisi testin ja toimi normaalisti koko testin ajan.

Suurtaajuisen sähkömagneettisen siedon testissä simuloidaan yleisradiolähettimen, amatöörilähettimen tai radiopuhelimen



aiheuttamaa häiriölähetettä. Testi voidaan toteuttaa joko liuskajohtomenetelmällä tai testaamalla laitteisto häiriösuojatussa huoneessa. Testissä käytetään testausgeneraattorin lisäksi useita eri lähetysantenneja. Tuotanto- tai asennusvaiheessa suurtaajuisten sähkömagneettisen kentän sieto voidaan tarkistaa yksinkertaisen radiopuhelintestin avulla.

5/50 ns pulssin siedon testissä simuloitiin kytkentä- ja katkaisuilmiöissä syntyviä toistuvia purskeita. Testauspurskeen jännitepulssille on ominaista lyhyt nousuaika, toistuvuus ja pieni energia. Testausgeneraattorin jännitepurske kytkettiin taajuusmuuttujan tehonsyöttöliittimiin kytkentäverkon avulla ja taajuusmuuttajan ohjauspaneelin johtoon kapasitiivisen kytkentälaitteen avulla. Testattu taajuusmuuttaja läpäisi testin ja toimi normaalisti koko testin ajan.

Syöksyjännitteen siedon testissä simuloitiin kytkentätransienttien tai salaman aiheuttamia jännitepiikkejä. Testausgeneraattorin korkeaenerginen jännitepulssi kytkettiin taajuusmuuttujan tehonsyöttöliittimiin kytkentäverkon avulla. Testattu taajuusmuuttaja läpäisi testin ja toimi normaalisti koko testin ajan.

Johtuvien radiotaajuisten häiriöiden siedon testissä määritellään laitteen immuniteetti 150 kHz ... 230 MHz:n taajuisten sähkömagneettisen säteilijän aiheuttamien johtuvien häiriöiden osalta. Testausgeneraattorin häiriösignaali kytketään tehonsyöttöliittimiin kytkentäverkon avulla.

Verkkojännitteen vaihtelun ja sähkökatkoksien testissä simuloidaan sähköverkossa esiintyviä poikkeamia, verkkojännitteen vaihtelua ja sähkökatkoksia. Testattava laite kytketään jännitteeltään alhaisempaan sijaisverkkoon 10 tai 100 ms:n ajaksi. Sähkökatkoksien siedon testissä testattavan laitteen jännite pudotetaan nopeasti tai hitaasti 20 tai 50 %:iin nimellisjännitteestä tai alhaisempaan arvoon.

Verkkotaajuuden magneettikentän siedon testissä tutkitaan, kuinka laite kestää teollisuusympäristössä esiintyviä korkeita magneettikentän voimakkuuksia. Laitteen ympärille rakennetaan kolme induktiokelaa, joihin kytketään suuri virta jännitteen säätäjän avulla.

Jännitteen vaihtelun siedon testissä laitteisto kytkettiin verkkoon säätömuuntajan kautta ja asetettiin alttiiksi  $+10\%$  ja  $-15\%$  jännitteen vaihtelulle 15 minuutin ajaksi. Testattu taajuusmuuttaja läpäisi testin ja toimi moitteettomasti koko testin ajan.

Työn loppuosassa on tutkittu taajuusmuuttajan häiriönpäästöä. Sähkölaitteiden häiriönpäästöt on jaettu johtuviin ja säteileviin häiriöihin. Työssä tarkasteltiin johtuvien häiriöiden mittausta ja vaimennusta ja tehtiin useita johtuvien häiriöiden mittauksia. Säteileviä häiriöitä tarkasteltiin suppeammin ja tehtiin joitakin magneettikentän voimakkuuden mittauksia.

Johtumalla etenevät häiriöt mitattiin CISPR 16:n mukaisen mittavastaanottimen ja kytkentäverkon avulla. Työssä esitettiin mittauskytkennät sekä radiohäiriöhuoneessa että tehtaan testaustilassa.

Johtuvien häiriöiden mittauksissa tutkittiin eri rakenteisten ja kapasitanssiltaan eri kokoisten häiriönsuotokondensaattorien ja niiden kytkennän vaikutusta häiriötasoon. Taajuusmuuttajan käyttötaajuudella ja kuormituksella ei ole suurta vaikutusta häiriötasoon. Tutkittiin myös häiriöiden kytkeytymistä ja pyrittiin näin paikallistamaan häiriöitä mm. laitteiston kytkentäkapasitanssia kasvattamalla ja pienentämällä. Häiriötasoa yritettiin pienentää myös radiohäiriösuodattimen ja kuristimien avulla. Kun taajuusmuuttajan virran syöttöön kytkettiin yhteismuotoinen kuristin ja lisäksi kuristimen jälkeen  $3 * 4 \mu\text{F}$ :n ja  $3 * 3,6 \mu\text{F}$ :n kondensaattorit, päästiin alle CENELECin salliman raja-arvoikäyrän.

Säteilemällä etenevät häiriöt mitataan CISPR:n mukaisella mittavastaanottimella, ja mittausantennina käytetään tasapainotettua dipoliantennia. Laitteen säteilemät häiriöt on mitattava usealta eri suunnalta. Tässä työssä taajuusmuuttajan säteilemän magneettikentän voimakkuus mitattiin suuntaa antavasti itsevalmistetun mittakelan ja spektrianalysaattorin avulla.



**LÄHDELUETTELO**

CENELEC TC 110(Sec)43. 1991. Draft Generic emission standard for the industrial equipment - prEN 50081-2. European Committee for Electrotechnical Standardization. 8 s.

CENELEC TC 110(Sec)44. 1991. Draft Generic immunity standard for the industrial equipment - prEN 50082-2. European Committee for Electrotechnical Standardization. 14 s.

CISPR 16. 1987. CISPR specification for radio interference measuring apparatus and measurement methods. International Special Committee on Radio Interference. 228 s.

EN 50081-1 (luonnos). 1991. Electromagnetic compatibility - Generic emission standard. Generic standard class: Domestic, commercial and light industry. European Committee for Electrotechnical Standardization. 8 s.

EN 50082-1 (luonnos). 1991. Electromagnetic compatibility - Generic immunity standard. Generic standard class: Domestic, commercial and light industry. European Committee for Electrotechnical Standardization. 12 s.

EN 55011. 1991. Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment (CISPR 11:1990 modified). European Committee for Electrotechnical Standardization. 5 s.

Euroopan yhteisö. 1989. Council directive of 3 May 1989 on the approximation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility. Official Journal of the European Communities. No. L 139. s. 19-26.

Federal Communications Commission. 1981. Part 15 - Radio Frequency Devices, Subpart J - Computing Device. FCC Rules and Regulations. Volume II, Part 15. s. 160-163.

TKK SÄHKÖTEKNIKAN  
OSASTON KIRJASTO  
OTAKAARI 5 A  
02150 ESPOO

Gauger, J.R. 1985. Household appliance magnetic field survey. IEEE Transactions on Power Apparatus and systems, Vol. PAS-104, No. 9, pp. 2436-2444.

Helsingin Sanomat. 1991. Uuteen Eurooppaan. Hallituksen selonteko paaluttaa Suomelle paikkaa Eurooppalaiselle talousalueelle. Helsingin Sanomat 13.3.1990, s. D1-D6.

IEC 38, 1983. IEC standard voltages. International Electrotechnical Commission. 19 s.

IEC 60-2, 1973. High-voltage test techniques, Part 2: Test Procedures. International Electrotechnical Commission. 52 s.

IEC 801-2, 1984. Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment, Part 2: Electrostatic discharge requirements. International Electrotechnical Commission. 34 s.

IEC 801-3, 1984. Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment, Part 3: Radiated electromagnetic field requirements. International Electrotechnical Commission. 41 s.

IEC 801-4, 1988. Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment, Part 4: Electrical fast transient/burst requirements. International Electrotechnical Commission. 49 s.

IEC TC 65(Sec)136, 1989. Revision of IEC Publication 801-2: Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment, Part 2: Electrostatic discharge requirements, Draft. International Electrotechnical Commission. 34 s.

IEC TC 65(Sec)137, 1990. Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment, Part 5: Surge immunity requirements, Draft. International Electrotechnical Commission. 36 s.

IEC TC 65(Sec)144, 1990. Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment, Part 6: Immunity to conducted Radio Frequency Disturbances above 9 kHz, Draft. International Electrotechnical Commission. 42 s.

IEC TC 77(Sec)87, 1990. System electromagnetic compatibility. Application and interpretation of EMC terms and definitions, Draft. International Electrotechnical Commission. 29 s.

IEC TC 77B(Sec)71, 1989. Electromagnetic compatibility. Immunity test, Draft. International Electrotechnical Commission. 78 s.

IEC TC 77B(Sec)72, 1990. Electromagnetic compatibility. Part 4: Testing and Measurement techniques, Draft. International Electrotechnical Commission. 36 s.

Kallasjoki, T. 1982 Sähkön laatu - Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Espoo. 94 s.

KOTEL, 1978. Sähkömagneettisten häiriöiden sanasto, suomi - englantia. Espoo, KOTEL 82 B, 15 s.

Peurala, A. 1991. Haastattelu 9.1.1991. Peurala, Arto. EMC-tutkija, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Teletekniikan laboratorio.

Reinikainen, R. 1988. EMC-mittauslaitteiston kehittäminen - Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Espoo. 46 s.

Salolainen, P. 1991. Tilanne ETA-neuvotteluissa rohkaiseva. SFS-tiedotus 23, 1. s. 4.

SFS 2664. 1988. Sähkötekniikka. Standardijännitteet. Suomen Standardisoimisliitto. 4 s.



SFS 5158. 1986. Ammattielektroniikkalaitteiden häiriönsieto. Staattisen purkauksen sieto. Testausmenetelmä. Suomen Standardisoimisliitto. 14 s.

SFS 5350. 1987. Ammattielektroniikkalaitteiden häiriönsieto. 5/50 ns pulssin sieto. Testausmenetelmä. Suomen Standardisoimisliitto. 14 s.

SFS 5466. 1988. Ammattielektroniikkalaitteiden häiriönsieto. Suurtaajuuden sähkömagneettisen kentän sieto. Testausmenetelmä. Suomen Standardisoimisliitto. 14 s.

SFS 5467. 1988. Ammattielektroniikkalaitteiden häiriönsieto. Ympäristöluokitus ja rasitusasteet. Suomen Standardisoimisliitto. 21 s.

SFS-EN 55014:E. 1987. Kotitaloussähkölaitteiden, siirrettävien sähkötyökalujen ja vastaavien sähkölaitteiden radiohäiriöiden raja-arvot ja mittausmenetelmät. Suomen Standardisoimisliitto. 64 s.

SFS-EN 55022:E. 1987. Tietotekniikan laitteiden radiohäiriöiden raja-arvot ja mittausmenetelmät. Suomen Standardisoimisliitto. 22 s.

SFS-EN 60555-2. 1988. Kotitaloussähkölaitteiden aiheuttamat verkkohäiriöt. Yliaallot. Suomen Standardisoimisliitto. 18 s.

SFS-EN 60555-3. 1988. Kotitaloussähkölaitteiden aiheuttamat verkkohäiriöt. Jännitteen vaihtelut. Suomen Standardisoimisliitto. 27 s.

Suomen Standardisoimisliitto. 1990. SFS-luettelo 1990. Jyväskylä. Gummerus Kirjapaino Oy. 366 s.

VTT. 1978. Ydinräjähdysten synnyttämä sähkömagneettinen pulssi (EMP) ja suojaus sen vaikutuksilta. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Teletekniikan laboratorio, tiedonanto 22. 207 s.

## II

*(Acts whose publication is not obligatory)*

## COUNCIL

## COUNCIL DIRECTIVE

of 3 May 1989

on the approximation of the laws of the Member States relating to  
electromagnetic compatibility

(89/336/EEC)

## THE COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES,

Having regard to the Treaty establishing the European Economic Community, and in particular Article 100a thereof,

Having regard to the proposal from the Commission <sup>(1)</sup>,

In cooperation with the European Parliament <sup>(2)</sup>,

Having regard to the opinion of the Economic and Social Committee <sup>(3)</sup>,

Whereas it is necessary to adopt measures with the aim of progressively establishing the internal market over a period expiring on 31 December 1992; whereas the internal market comprises an area without internal frontiers in which the free movement of goods, persons, services and capital is ensured;

Whereas Member States are responsible for providing adequate protection for radiocommunications and the devices, apparatus or systems whose performance may be degraded by electromagnetic disturbance produced by electrical and electronic apparatus against the degradation caused by such disturbances;

Whereas Member States are also responsible for ensuring that electric energy distribution networks are protected from electromagnetic disturbance which can affect them and, consequently, equipment fed by them;

Whereas Council Directive 86/361/EEC of 24 July 1986 on the initial stage of the recognition of type-approval for telecommunications terminal equipment <sup>(4)</sup> covers in particular the signals emitted by such equipment when it is operating normally and the protection of public telecommunications networks from harm; whereas it is

therefore still necessary to provide adequate protection for these networks, including the equipment connected to them, against temporary disturbances caused by signals of an accidental nature that may be emitted by this equipment;

Whereas in some Member States, mandatory provisions define in particular the permissible electromagnetic disturbance levels that this equipment is liable to cause and its degree of immunity to such signals; whereas these mandatory provisions do not necessarily lead to different protection levels from one Member State to another but do, by their disparity, hinder trade within the Community;

Whereas the national provisions ensuring such protection must be harmonized in order to guarantee the free movement of electrical and electronic apparatus without lowering existing and justified levels of protection in the Member States;

Whereas Community legislation as it stands at present provides that, notwithstanding one of the fundamental rules of the Community, namely the free movement of goods, barriers to intra-Community trade resulting from disparities in national laws on the marketing of products have to be accepted in so far as those provisions may be recognized as necessary to satisfy essential requirements; whereas the harmonization of laws in the case in point must therefore be confined to those provisions needed to comply with the protection requirements relating to electromagnetic compatibility; whereas these requirements must replace the corresponding national provisions;

Whereas this Directive therefore defines only protection requirements relating to electromagnetic compatibility; whereas, to facilitate proof of conformity with these requirements, it is important to have harmonized standards at European level concerning electromagnetic compatibility, so that products complying with them may

<sup>(1)</sup> OJ No C 322, 2. 12. 1987, p. 4.

<sup>(2)</sup> OJ No C 262, 10. 10. 1988, p. 82 and OJ No C 69, 20. 3. 1989, p. 72.

<sup>(3)</sup> OJ No C 134, 24. 5. 1988, p. 2.

<sup>(4)</sup> OJ No L 217, 5. 8. 1986, p. 21.



be assumed to comply with the protection requirements; whereas these standards harmonized at European level are drawn up by private bodies and must remain non-binding texts; whereas for that purpose the European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC) is recognized as the competent body in the field of this Directive for the adoption of harmonized standards in accordance with the general guidelines for cooperation between the Commission and the European Committee for Standardization (CEN) and CENELEC signed on 13 November 1984; whereas, for the purposes of this Directive, a harmonized standard is a technical specification (European standard or harmonization document) adopted by CENELEC upon a remit from the Commission in accordance with the provisions of Council Directive 83/189/EEC of 28 March 1983 laying down a procedure for the provision of information in the field of technical standards and regulations<sup>(1)</sup>, as last amended by Directive 88/182/EEC<sup>(2)</sup>, and pursuant to the abovementioned general guidelines;

Whereas, pending the adoption of harmonized standards for the purposes of this Directive, the free movement of goods should be facilitated by accepting, as a transitional measure, on a Community level, apparatus complying with the national standards adopted, in accordance with the Community inspection procedure ensuring that such national standards meet the protection objectives of this Directive;

Whereas the EC declaration of conformity concerning the apparatus constitutes a presumption of its conformity with this Directive; whereas this declaration must take the simplest possible form;

Whereas, for apparatus covered by Directive 86/361/EEC, in order to obtain efficient protection as regards electromagnetic compatibility, compliance with the provisions of this Directive should nevertheless be certified by marks or certificates of conformity issued by bodies notified by the Member States; whereas, to facilitate the mutual recognition of marks and certificates issued by these bodies, the criteria to be taken into consideration for appointing them should be harmonized;

Whereas it is nevertheless possible that equipment might disturb radiocommunications and telecommunications networks; whereas provision should therefore be made for a procedure to reduce this hazard;

Whereas this Directive applies to the appliances and equipment covered by Directives 76/889/EEC<sup>(3)</sup> and

76/890/EEC<sup>(4)</sup> which relate to the approximation of the laws of the Member States relating to radio interference caused by electrical household appliances, portable tools and similar equipment and to the suppression of radio interference with regard to fluorescent lighting luminaires fitted with starters; whereas those Directive should therefore be repealed,

HAS ADOPTED THIS DIRECTIVE:

### *Article 1*

For the purposes of this Directive:

1. 'apparatus' means all electrical and electronic appliances together with equipment and installations containing electrical and/or electronic components.
2. 'electromagnetic disturbance' means any electromagnetic phenomenon which may degrade the performance of a device, unit of equipment or system. An electromagnetic disturbance may be electromagnetic noise, an unwanted signal or a change in the propagation medium itself.
3. 'immunity' means the ability of a device, unit of equipment or system to perform without degradation of quality in the presence of an electromagnetic disturbance.
4. 'electromagnetic compatibility' means the ability of a device, unit of equipment or system to function satisfactorily in its electromagnetic environment without introducing intolerable electromagnetic disturbances to anything in that environment.
5. 'competent body' means any body which meets the criteria listed in Annex II and is recognized as such.
6. 'EC type-examination certificate' is a document in which a notified body referred to in Article 10 (6) certifies that the type of equipment examined complies with the provisions of this Directive which concern it.

### *Article 2*

1. This Directive applies to apparatus liable to cause electromagnetic disturbance or the performance of which is liable to be affected by such disturbance.

It defines the protection requirements and inspection procedures relating thereto.

<sup>(1)</sup> OJ No L 169, 26. 4. 1983, p. 8.

<sup>(2)</sup> OJ No L 81, 26. 3. 1988, p. 75.

<sup>(3)</sup> OJ No L 336, 4. 12. 1976, p. 1.

<sup>(4)</sup> OJ No L 336, 4. 12. 1976, p. 22.



2. In so far as protection requirements specified in this Directive are harmonized, in the case of certain apparatus, by specific Directives, this Directive shall not apply or shall cease to apply with regard to such apparatus or protection requirements upon the entry into force of those specific Directives.

3. Radio equipment used by radio amateurs within the meaning of Article 1, definition 53, of the radio regulations in the International Telecommunications Convention, shall be excluded from the scope of this Directive, unless the apparatus is available commercially.

### Article 3

Member States shall take all appropriate measures to ensure that apparatus as referred to in Article 2 may be placed on the market or taken into service only if it complies with the requirements laid down by this Directive when it is properly installed and maintained and when it is used for the purposes for which it is intended.

### Article 4

The apparatus referred to in Article 2 shall be so constructed that:

- (a) the electromagnetic disturbance it generates does not exceed a level allowing radio and telecommunications equipment and other apparatus to operate as intended;
- (b) the apparatus has an adequate level of intrinsic immunity of electromagnetic disturbance to enable it to operate as intended.

The principal protection requirements are set out in Annex III.

### Article 5

Member States shall not impede for reasons relating to electromagnetic compatibility the placing on the market and the taking into service on their territory of apparatus covered by this Directive which satisfies the requirements thereof.

### Article 6

1. The requirements of this Directive shall not prevent the application in any Member State of the following special measures:

- (a) measures with regard to the taking into service and use of the apparatus taken for a specific site in order to overcome an existing or predicted electromagnetic compatibility problem;
- (b) measures with regard to the installation of the apparatus taken in order to protect the public telecommunications networks or receiving or transmitting stations used for safety purposes.

2. Without prejudice to Directive 83/189/EEC, Member States shall inform the Commission and the other Member States of the special measures taken pursuant to paragraph 1.

3. Special measures that have been recognized as justified shall be contained in an appropriate notice made by the Commission in the *Official Journal of the European Communities*.

### Article 7

1. Member States shall presume compliance with the protection requirements referred to in Article 4 in the case of apparatus which is in conformity;

- (a) with the relevant national standards transposing the harmonized standards, the reference numbers of which have been published in the *Official Journal of the European Communities*. Member States shall publish the reference numbers of such national standards;
- (b) or with the relevant national standards referred to in paragraph 2 in so far as, in the areas covered by such standards, no harmonized standards exist.

2. Member States shall communicate to the Commission the texts of their national standards, as referred to in paragraph 1 (b), which they regard as complying with the protection requirements referred to in Article 4. The Commission shall forward such texts forthwith to the other Member States. In accordance with the procedure provided for in Article 8 (2), it shall notify the Member States of those national standards in respect of which there is a presumption of conformity with the protection requirements referred to in Article 4.

Member States shall publish the reference numbers of those standards. The Commission shall also publish them in the *Official Journal of the European Communities*.

3. Member States shall accept that where the manufacturer has not applied, or has applied only in part, the standards referred to in paragraph 1, or where no such standards exist, apparatus shall be regarded as satisfying the protection requirements has been certified by the means of attestation provided for in Article 10 (2).

### Article 8

1. Where a Member State or the Commission considers that the harmonized standards referred to in Article 7 (1) (a) do not entirely satisfy the requirements referred to in Article 4, the Member State concerned or the Commission shall bring the matter before the Standing Committee set up by Directive 83/189/EEC, hereinafter referred to as 'the Committee', giving the reasons therefor. The Committee shall deliver an opinion without delay.

Upon receipt of the Committee's opinion, the Commission shall inform the Member States as soon as possible whether or not it is necessary to withdraw in whole or in part those standards from the publications referred to in Article 7 (1) (a).



2. After receipt of the communication referred to in Article 7 (2), the Commission shall consult the Committee. Upon receipt of the latter's opinion, the Commission shall inform the Member States as soon as possible whether or not the national standard in question shall enjoy the presumption of conformity and, if so, that the references thereof shall be published nationally.

If the Commission or a Member State considers that a national standard no longer satisfies the necessary conditions for presumption of compliance with the protection requirements referred to in Article 4, the Commission shall consult the Committee, which shall give its opinion without delay. Upon receipt of the latter's opinion, the Commission shall inform the Member States as soon as possible whether or not the standard in question shall continue to enjoy a presumption of conformity and, if not, that it must be withdrawn in whole or in part from the publications referred to in Article 7 (2).

#### Article 9

1. Where a Member State ascertains that apparatus accompanied by one of the means of attestation provided for in Article 10 does not comply with the protection requirements referred to in Article 4, it shall take all appropriate measures to withdraw the apparatus from the market, prohibit its placing on the market or restrict its free movement.

The Member State concerned shall immediately inform the Commission of any such measure, indicating the reasons for its decision and, in particular, whether non-compliance is due to:

- (a) failure to satisfy the protection requirements referred to in Article 4, where the apparatus does not meet the standards referred to in Article 7 (1);
- (b) incorrect application of the standards referred to in Article 7 (1);
- (c) shortcomings in the standards referred to in Article 7 (1) themselves.

2. The Commission shall consult the parties concerned as soon as possible. If the Commission finds, after such consultations, that the action is justified, it shall forthwith so inform the Member State that took the action and the other Member States.

Where the decision referred to in paragraph 1 is attributed to shortcomings in the standards, the Commission, after consulting the parties, shall bring the matter before the Committee within two months if the Member State which has taken the measures intends to uphold them, and shall initiate the procedures referred to in Article 8.

3. Where apparatus which does not comply is accompanied by one of the means of attestation referred to in Article 10, the competent Member State shall take

appropriate action against the author of the attestation and shall inform the Commission and the other Member States thereof.

4. The Commission shall ensure that the Member States are kept informed of the progress and outcome of this procedure.

#### Article 10

1. In the case of apparatus for which the manufacturer has applied the standards referred to in Article 7 (1), the conformity of apparatus with this Directive shall be certified by an EC declaration of conformity issued by the manufacturer or his authorized representative established within the Community. The declaration shall be held at the disposal of the competent authority for ten years following the placing of the apparatus on the market.

The manufacturer or his authorized representative established within the Community shall also affix the EC conformity mark to the apparatus or else to the packaging, instructions for use or guarantee certificate.

Where neither the manufacturer nor his authorized representative is established within the Community, the above obligation to keep the EC declaration of conformity available shall be the responsibility of the person who places the apparatus on the Community market.

The provisions governing the EC declaration and the EC mark are set out in Annex 1.

2. In the case of apparatus for which the manufacturer has not applied, or has applied only in part, the standards referred to in Article 7 (1) or failing such standards, the manufacturer or his authorized representative established within the Community shall hold at the disposal of the relevant competent authorities, as soon as the apparatus is placed on the market, a technical construction file. This file shall describe the apparatus, set out the procedures used to ensure conformity of the apparatus with the protection requirements referred to in Article 4 and include a technical report or certificate, one or other obtained from a competent body.

The file shall be held at the disposal of the competent authorities for ten years following the placing of the apparatus on the market.

Where neither the manufacturer nor his authorized representative is established within the Community, this obligation to keep a technical file available shall be the responsibility of the person who places the apparatus on the Community market.

The conformity of apparatus with that described in the technical file shall be certified in accordance with the procedure laid down in paragraph 1.

Member States shall presume, subject to the provisions of this paragraph, that such apparatus meets the protection requirements referred to in Article 4.



3. Where the standards referred to in Article 7 (1) are not yet in existence, and without prejudice to the provisions of paragraph 2 of this Article, the apparatus concerned may, on a transitional basis until 31 December 1992 at the latest, continue to be governed by the national arrangements in force on the date of adoption of this Directive, subject to the compatibility of such arrangements with the provisions of the Treaty.

4. Conformity of apparatus covered by Article 2 (2) of Directive 86/361/EEC with the provisions of this Directive shall be certified in accordance with the procedure laid down in paragraph 1 once the manufacturer or his authorized representative established within the Community has obtained an EC type-examination certificate concerning this apparatus issued by one of the notified bodies referred to in paragraph 6 of this Article.

5. The conformity of apparatus designed for the transmission of radiocommunications, as defined in the International Telecommunication Union Convention, with the provisions of this Directive shall be certified in accordance with the procedure laid down in paragraph 1 once the manufacturer or his authorized representative established within the Community has obtained an EC type-examination certificate concerning this apparatus issued by one of the notified bodies referred to in paragraph 6 below.

This provision shall not apply to the above apparatus where it is designed and intended exclusively for radio amateurs within the meaning of Article 2 (3).

6. Each Member State shall notify the Commission and the other Member States of the competent authorities referred to in this Article and of the bodies responsible for issuing the EC type-examination certificates referred to in paragraphs 4 and 5. The Commission shall publish a list of those authorities and bodies, for information purposes, in the *Official Journal of the European Communities* and shall ensure that the list is updated.

Such notification shall state whether those bodies are competent for all apparatus covered by this Directive or whether their responsibility is limited to certain specific areas.

Member States shall apply the criteria listed in Annex II for the assessment of the bodies to be notified.

Bodies which comply with the assessment criteria fixed by the relevant harmonized standards shall be presumed to comply with the aforementioned criteria.

A Member State which has notified a body must withdraw approval if it finds that the body no longer meets the criteria listed in Annex II. It shall forthwith inform the Commission and the other Member States thereof.

#### *Article 11*

Directive 76/889/EEC and Directive 76/890/EEC shall be repealed as from 1 January 1992.

#### *Article 12*

1. By 1 July 1991, Member States shall adopt and publish the laws, regulations and administrative provisions necessary to comply with this Directive. They shall inform the Commission thereof.

They shall apply these provisions as from 1 January 1992.

2. Member States shall communicate to the Commission the texts of the provisions of national law which they adopt in the field covered by this Directive.

#### *Article 13*

This Directive is addressed to the Member States.

Done at Brussels, 3 May 1989.

*For the Council*

*The President*

P. SOLBES



*ANNEX I***1. EC declaration of conformity**

The EC declaration of conformity must contain the following :

- description of the apparatus to which it refers,
- reference to the specifications under which conformity is declared, and, where appropriate, to the national measures implemented to ensure the conformity of the apparatus with the provisions of the Directive,
- identification of the signatory empowered to bind the manufacturer or his authorized representative,
- where appropriate, reference to the EC type-examination certificate issued by a notified body.

**2. EC conformity mark**

- The EC conformity mark shall consist of the letters CE as set out below and the figures of the year in which the mark was affixed.



- This mark should, where appropriate, be accompanied by the distinctive letters used by the notified body issuing the EC type-examination certificate.
- Where apparatus is the subject of other Directives providing for the EC conformity mark, the affixing of the EC mark shall also indicate conformity with the relevant requirements of those other Directives.

—

*ANNEX II***Criteria for the assessment of the bodies to be notified**

The bodies designated by the Member States must fulfil the following minimum conditions:

1. availability of personnel and of the necessary means and equipment;
2. technical competence and professional integrity of personnel;
3. independence, in carrying out the tests, preparing the reports, issuing the certificates and performing the verification function provided for in this Directive, of staff and technical personnel in relation to all circles, groups or persons directly or indirectly concerned with the product in question;
4. maintenance of professional secrecy by personnel;
5. possession of civil liability insurance unless such liability is covered by the State under national law.

Fulfilment of the conditions under points 1 and 2 shall be verified at intervals by the competent authorities of the Member States.

---

*ANNEX III***Illustrative list of the principal protection requirements**

The maximum electromagnetic disturbance generated by the apparatus shall be such as not to hinder the use of in particular the following apparatus :

- (a) domestic radio and television receivers
- (b) industrial manufacturing equipment
- (c) mobile radio equipment
- (d) mobile radio and commercial radiotelephone equipment
- (e) medical and scientific apparatus
- (f) information technology equipment
- (g) domestic appliances and household electronic equipment
- (h) aeronautical and marine radio apparatus
- (i) educational electronic equipment
- (j) telecommunications networks and apparatus
- (k) radio and television broadcast transmitters
- (l) lights and fluorescent lamps.

Apparatus, and especially the apparatus referred to in (a) to (l), should be constructed in such a way that it has an adequate level of electromagnetic immunity in the usual electromagnetic compatibility environment where the apparatus is intended to work so as to allow its unhindered operation taking into account the levels of disturbance generated by apparatus complying with the standards laid down in Article 7.

The information required to enable use in accordance with the intended purpose of the apparatus must be contained in the instructions accompanying the apparatus.

---



## Tyyppikoeohje - IEC 801-2 STAATTISEN PURKAUKSEN SIETO

Ennen tyyppikokeen aloittamista mittaus- ja koestuspöytäkirjaan on täydennettävä seuraavat tiedot:

- Mittauksen päivämäärä
- Valvojan ja koestajan nimi
- Tutkittavan laitteen nimi ja tyyppi
- Tutkittava ominaisuus ja koestuksen mukainen standardi.

### 1. TESTAUSLAITTEISTO

Testauslaitteisto koostuu seuraavista osista:

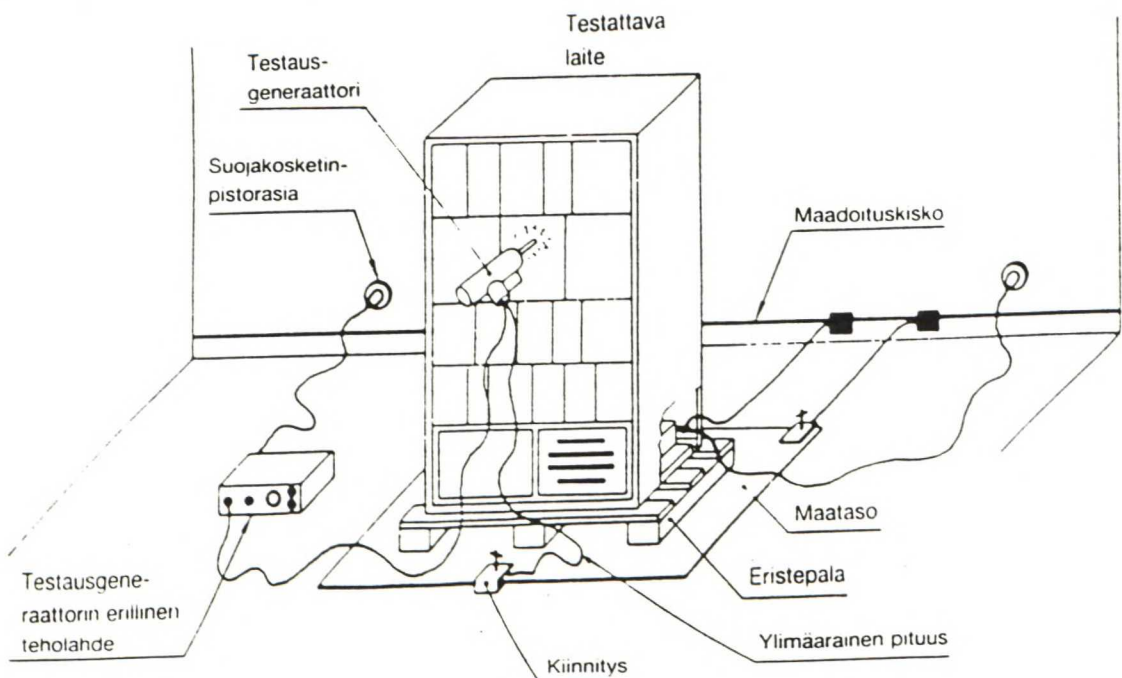
- testausgeneraattori
- maataso ja sen maadoitusjohdin
- tarvittavat mittalaitteet.

Testausgeneraattorina käytetään IEC 801-2 standardin mukaista SCHAFFNERin valmistamaa NSG 430 staattisen purkauksen simulaattoria. Testausgeneraattori maadoitetaan maatasoon eristetyllä, taipuisalla kuparinauhalla.

Maatasona käytetään vähintään 0,25 mm paksua 1,0 m x 1,0 m kuparilevyä (tai alumiini-levyä). Maataso maadoitetaan koestuspaikan maadoituskiskoon.

Laite eristetään maatasosta 10 cm korkealla puualustalla, jonka päälle testattava laite asetetaan. Testattava laite kytketään toiminnan vaatimalla tavalla. Testattava laite maadoitetaan normaalien asennusohjeiden mukaisesti koestuspaikan maadoituskiskoon. Ylimääräisiä maadoituksia ei sallita.

Lisäksi tarvitaan ympäristön lämpötilan mittari, kosteusmittari sekä ilmanpainemittari.



Kuva 1

Testauslaitteisto

## 2. TESTAUKSEN SUORITTAMINEN

### 2.1 Olosuhteet

Ympäristön vaikutuksen minimoimiseksi testaus on suoritettava seuraavissa olosuhteissa:

Ympäristön lämpötila 15 ... 35 °C  
 Suhteellinen kosteus 25 ... 75 %  
 Ilmanpaine 860 ... 1060 mbar

Sähkömagneettisen ympäristön on oltava sellainen, että se ei vaikuta testaustuloksiin.

### 2.2 Häiriövaikutuksen asteet

Häiriövaikutuksen asteita määritellään viisi:

Normaali toiminta	laitteen toiminta täyttää testin aikana kaikki spesifioidut vaatimukset
Pieni toimintahäiriö	aiheuttaa laitteen epäoleellisen toiminnan hetkellisen katkeamisen
Suuri toimintahäiriö	aiheuttaa laitteen oleellisen toiminnan hetkellisen katkeamisen tai huonontumisen, mutta toiminta palautuu itsestään
Toiminnan katkeaminen	aiheuttaa laitteen oleellisen toiminnan katkeamisen, mutta toiminta voidaan palauttaa entiselleen käyttäjän toimesta ilman huolto- toimenpiteitä
Vikaantuminen	aiheuttaa laitteen vioittumisen, jolloin vian täytyy rajoittua testauksen kohteena olevaan osaan.

### 2.3 Staattinen purkaus

Staattinen purkaus kohdistetaan ennalta valittuihin kohteisiin yksittäisinä purkauksina. Purkauksia annetaan kuhunkin kohteeseen 10 kappaletta ja niiden väli on 1 sekunti.

Testaus suoritetaan, kun taajuusmuuttajaan on kytketty tyhjäkäynnillä käyvä moottori.

Koestusjänniteenä käytetään SFS 5467 -standardin mukaisia jännitteitä (kohta 6.5.5). Seuraavassa on esitetty koestusjännitteet ja vastaavat sallitut häiriövaikutukset:

<u>Jännite</u>	<u>Sallittu häiriövaikutus</u>
15 kV	Suuri toimintahäiriö
8 kV	Pieni toimintahäiriö
4 kV	Normaali toiminta

Jos testattava laitteisto toimii normaalisti 15 kV:n jännitteellä, ei kokeita tarvitse toistaa alhaisemmilla jännitteillä.

### 2.3.1 Testattavan laitteen lähellä tapahtuva purkaus

Testattavan laitteen lähellä tapahtuvaa purkausta simuloidaan kohdistamalla purkaus maatasoon. Staattinen purkaus kohdistetaan vain normaalisti kosketeltavissa oleviin kohtiin ja pintoihin. Purkauselektrodi pidetään kohtisuorassa testattavaa pintaa vastaan. maadoitusjohtimen on oltava vähintään 0,1 m päässä testattavasta laitteesta kun purkaus tapahtuu.

### 2.3.2 Suoraan testattavaan laitteeseen tapahtuva purkaus

Staattinen purkaus kohdistetaan vain normaalisti kosketeltavissa oleviin kohtiin ja pintoihin. Purkauselektrodi pidetään kohtisuorassa testattavaa pintaa vasten ja se työnnetään niin lähelle testauskohdetta, että purkaus tapahtuu.

#### Testataan seuraavat kohteet:

- |                   |                                |
|-------------------|--------------------------------|
| - Yläpintalevy    | - NEXT-painike                 |
| - Alapintalevy    | - GROUP-valintakytkin          |
| - Vasen ulkosivu  | - STEP (eteenpäin)-painike     |
| - Oikea ulkosivu  | - STEP (taaksepäin)-painike    |
| - Katto           | - REMOTE/LOCAL-kytkin          |
| - Nostokorvakkeet | - ON/OFF-kytkin                |
| - Säleikkö        | - Nopeudensäädön potentiometri |
| - Näyttö          | - Suunnanvaihtokytkin          |

Mittaus- ja koestuspöytäkirjaan kirjataan jokaisesta kohteesta häiriövaikutuksen asteet.

#### Taajuusmuuttajan käyttötaajuuudet:

Testi toistetaan seuraavilla käyttötaajuuksilla:

- 0,5 Hz
- 8 Hz
- 25 Hz
- 50 Hz
- Sallittu maksimitaajuus



ABB Strömberg Drives Oy

Mittaus- ja koestuspöytäkirja

Tehoelektroniikka  
Helsinki

Testattu laitteisto

Taajuusmuuttaja

Tyyppi

SAMI Flowstar 100 kW / 415 V, SAFA P21 - C000PA

Valmistaja

ABB Strömberg Drives Oy

Standardit

IEC 801-2  
SFS 5158  
SFS 5467Mittaus- ja  
koestuspöytäkirja

SAFA P21 - C000PA -laitteiston staattisen purkauksen sieto

ABB Strömberg Drives Oy  
Tehoelektroniikka30.7.1990Jel. Matti Kallio

Testaus suoritettu

päivämäärä

testauksen suorittaja

Tehoelektroniikka  
Helsinki

### Testausolosuhteet:

Ympäristön lämpötila on 15 ... 35 °C

☒ kyllä ei 24 °C  
☒ kyllä ei 56 %  
☒ kyllä ei 997 mbar

Suhteellinen kosteus on 25 ... 75 %

Ilmanpaine on 860 ... 1060 mbar

Testattavan laitteen ja testauslaitteiston kytkentä on

SFS 5158 -standardin mukainen (tyyppikoeohje)

☒ kyllä ei

Taajuusmuuttajaan kytketyn moottorin tiedot:

M92 ja M93: HXUR/E 452GE  
yt. 75 kW 660/380V max 3000 r/min

### Testattavat taajuusmuuttajan käyttötaajuudet:

Laitteisto testataan seuraavilla taajuusmuuttajan käyttötaajuuksilla: 0,5 Hz, 8 Hz, 25 Hz, 50 Hz sekä sallitulla maksimitaajuudella (  $f_{max}$  ). Mitataan yksi taajuus kerrallaan.

$f_{max} =$  65 Hz

Merkittäessä häiriövaikutuksen asteita seuraavan sivun mittauslomakkeeseen, on käytettävä arvosteluasteikkoa 1 - 5 seuraavasti:

- 1 Normaali toiminta
- 2 Pieni toimintahäiriö
- 3 Suuri toimintahäiriö
- 4 Toiminnan katkeaminen
- 5 Vikaantuminen

### Testattavan laitteen lähellä tapahtuva purkaus:

Ensiksi simuloidaan testattavan laitteen lähellä tapahtuvaa purkausta kohdistamalla purkaus maatasoon. Täytetään mittauslomakkeen kohdat 1 - 3.

### Suoraan testattavaan laitteeseen tapahtuva purkaus:

Seuraavaksi staattinen purkaus kohdistetaan normaalisti kosketeltavissa oleviin kohtiin ja pintoihin. Täytetään mittauslomakkeen kohdat 4 - 19.

# MITT AUSLOMAKE

[illegible]



## II

*(Acts whose publication is not obligatory)*

## COUNCIL

## COUNCIL DIRECTIVE 92/31/EEC

of 28 April 1992

amending Directive 89/336/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility

THE COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES,

Having regard to the Treaty establishing the European Economic Community, and in particular Article 100a thereof,

Having regard to the proposal from the Commission <sup>(1)</sup>,

In cooperation with the European Parliament <sup>(2)</sup>,

Having regard to the opinion of the Economic and Social Committee <sup>(3)</sup>,

Whereas Directive 89/336/EEC <sup>(4)</sup> provides for complete harmonization relating to electromagnetic compatibility;

Whereas a uniform application of that Directive requires the availability of harmonized standards; whereas these standards will not be available by the date of application of that Directive;

Whereas that Directive has not provided for an adequate transitional period during which it would be permitted to place on the market apparatus manufactured in accordance with national regulations applicable before the date of application of the said Directive;

Whereas manufacturers must have the time needed to allow apparatus in stock to be marketed;

Whereas Directive 89/336/EEC should accordingly be amended,

HAS ADOPTED THIS DIRECTIVE:

*Article 1*

Directive 89/336/EEC is hereby amended as follows:

1. Article 10 (3) shall be deleted.
2. Article 12 (1) shall be supplemented by the following paragraph:

'However, Member States shall, for the period up to 31 December 1995, authorize the placing on the

market and/or the putting into service of apparatus referred to in this Directive conforming to the national regulations in force in their territory on 30 June 1992.'

*Article 2*

1. Member States shall adopt and publish the laws, regulations and administrative provisions necessary to comply with this Directive not later than three months after its adoption. They shall forthwith inform the Commission thereof.

When Member States adopt these measures, they shall contain a reference to this Directive or shall be accompanied by such reference on the occasion of their official publication. The methods of making such a reference shall be laid down by the Member States.

Member States shall apply these provisions not later than six months after the adoption of this Directive.

2. Member States shall communicate to the Commission the texts of the main provisions of domestic law which they adopt in the field governed by this Directive.

*Article 3*

This Directive is addressed to the Member States.

Done at Luxembourg, 28 April 1992.

*For the Council*

*The President*

Ariando MARQUES CUNHA

<sup>(1)</sup> OJ No C 126, 21. 6. 1991, p. 7.

<sup>(2)</sup> OJ No C 13, 20. 1. 1992, p. 506 and

OJ No C 94, 13. 4. 1992.

<sup>(3)</sup> OJ No C 339, 31. 12. 1991, p. 1.

<sup>(4)</sup> OJ No L 139, 23. 5. 1989, p. 19. Directive amended by Directive 91/263/EEC (OJ No L 128, 23. 5. 1991, p. 1).